

# **Redução dos defeitos gerados na área da soldadura na *General Electric Power Controls* Portugal**

*Maria Umbelina da Costa Barbosa*

## **Dissertação de Mestrado**

Orientador na FEUP: Professor Manuel Pina Marques

Orientador na *GE Power Controls* Portugal: Engenheiro Rui Amaro



# **FEUP**

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**  
**Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão**

2012-09-24

*À minha família, em especial à minha avó.*

## Resumo

Na atualidade, organizações como a *General Electric*s procuram criar, de forma sustentável, valor para o cliente. Para esse efeito, a empresa procura aumentar a qualidade dos seus produtos, através da melhoria do processo de soldadura dos elementos dos disjuntores e da eliminação de desperdícios existentes neste processo.

Neste contexto, a presente dissertação tem como principal objetivo a recolha de dados e a aplicação de ferramentas da qualidade, com vista a melhorar o processo de soldadura, reduzindo defeitos no produto.

No processo de soldadura, é essencial sujeitar as soldaduras dos elementos dos disjuntores a testes. Averiguou-se que a recolha das amostras utilizadas para a realização dos referidos testes não é aleatória, viciando, assim, os resultados obtidos.

É pois essencial alterar a metodologia de recolha das amostras para posterior análise. Uma vez recolhidos e tratados os dados relativos ao processo de soldadura, são aplicadas cartas de controlo que permitem a análise estatística do processo.

Posteriormente, procedeu-se à recolha de amostras e identificação dos defeitos existentes nos elementos dos disjuntores do processo de soldadura. Foram analisadas as causas associadas à origem dos mesmos, a fim de se determinarem possíveis soluções que previnam a ocorrência de produtos não conformes. Ferramentas como sistemas à prova de erros e a técnica de gestão visual foram implementadas, permitindo concluir, pelos resultados obtidos, que é possível reduzir significativamente a quantidade de desperdício.

## **Reducing defects generated in the welding area**

### **Abstract**

Currently, organizations like General Electrics seek sustainably by creating value for the customer. Therefore, the company aims to increase the quality of its products, focusing on the process of welding the elements of circuit breakers and eliminating waste disposal in this process.

In this context, the main objective of this dissertation is to survey data and the application of quality tools to improve the welding process, reducing product defects.

In the welding process, it is essential to perform welding tests. It was found that the collection of the sample used for testing is not random, vitiating the results.

Thus, it is essential to change the method of sample collection for later analysis. Once gathered and organized the data of the welding process, tools are applied as quality control charts which allow statistical analysis of the process.

Afterwards, we proceeded in sampling and identifying the defects in the circuit breakers elements of the welding process. We analyzed the causes related to the same source of defects, in order to determine possible solutions to prevent the occurrence of non-conforming products. Tools like systems fool proof technique and visual management were implemented, allowing us to conclude, from the obtained results, that it is possible to significantly reduce the amount of waste.

## **Agradecimentos**

Durante a realização deste projeto, contei com a confiança e o apoio de várias pessoas que influenciaram positivamente a evolução do trabalho e sem as quais a apresentação deste não seria possível.

Assim, gostaria de agradecer primeiramente ao Eng.º Rui Amaro, orientador do projeto na *GE Power Controls*, pela oportunidade criada dentro da empresa e confiança depositada. Gostaria de agradecer também ao Eng.º Rui Coelho, pela incondicional ajuda na perceção dos conhecimentos técnicos no processo de soldadura. Um agradecimento especial às colaboradoras no processo de soldadura, com especial atenção Ilda Rocha e Marisa Silva, pelo interesse e disposição em colaborar sempre que solicitada a sua ajuda.

Ao Professor Manuel Pina Marques, orientador da dissertação na FEUP, agradeço o apoio, a partilha do saber e as valiosas contribuições na realização do trabalho.

Estou muita grata a todos os meus familiares e amigos mais próximos, pelo incentivo ao longo destes anos.

## Índice de Conteúdos

1. Introdução .....	1
1.1 Apresentação da <i>General Electrics</i> .....	1
1.2 O Projeto Redução dos Defeitos na <i>GE</i> .....	4
1.3 Organização da dissertação.....	4
2. Enquadramento Teórico.....	5
2.1 Os Sete Desperdícios .....	5
2.2 Melhoria da Qualidade .....	6
2.2.1 Ferramentas de Recolha e Análise de Dados .....	7
2.2.2 Análise, Seriação e Seleção de Problemas .....	9
2.2.3 Identificar as Causas dos Problemas Prioritários .....	15
2.2.4 Resolução dos Problemas .....	18
3. Diagnóstico do processo de soldadura .....	19
3.1 Controlo estatístico da qualidade inicial do processo de soldadura .....	23
3.1.1 Contabilização dos custos relativos ao controlo estatístico da qualidade inicial.....	23
3.1.2 Método atualmente utilizado pela empresa .....	25
3.2 Identificação das causas do aparecimento de defeitos .....	26
3.2.1 Recolha e análise dos dados do problema .....	26
3.2.2 Identificação das causas.....	27
4. Soluções propostas.....	29
4.1 Proposta metodológica para o controlo estatístico de qualidade .....	29
4.2 Melhorias para minimização de defeitos .....	39
4.2.1 Alternativas de solução.....	39
4.2.2 Priorizar soluções .....	40
4.2.3 Desenvolver soluções.....	40
4.2.4 Implementar, avaliar e analisar soluções.....	41
5. Conclusões e perspetivas de trabalho futuro.....	45
Referências .....	46
ANEXO A: Constituição dos componentes térmicos, magnéticos e neutros .....	49
ANEXO B: Contabilização das quantidades e custos dos defeitos planeados.....	52
ANEXO C: Subdivisões do fluxograma dos defeitos não planeados .....	56
ANEXO D: Tabela de auxílio da construção do Diagrama de Pareto .....	57
ANEXO E: Principais defeitos gerados na área da soldadura .....	58
ANEXO F: Diagramas de Ishikawa (Causa-efeito) .....	60
ANEXO G: Análise de cartas de controlo .....	64
ANEXO H: FMEA.....	73
ANEXO I: Ferramenta 5W1H .....	74

## **Siglas**

ELCB – *Earth Leakage Circuit Breaker*

FMEA – *Failure Mode and Effects Analysis*

IPR - Índice de Prioridade do Risco

PDCA – *Plan, Do, Check, Act*

QMS – *Quality Management System*

## Índice de Figuras

Figura 1 – Principais áreas de negócio do grupo GE .....	2
Figura 2 - Estrutura Organizacional .....	2
Figura 3 - Funções de suporte à Estrutura organizacional .....	2
Figura 4 - Fluxograma do processo produtivo dos disjuntores de baixa tensão .....	3
Figura 5 - Passos a seguir com 5W1H .....	7
Figura 6 - Metodologia para a construção de um Diagrama de Pareto .....	10
Figura 7 - Exemplo de um Diagrama de Pareto [Juran et al.,1999].....	10
Figura 8 - Causas de variação do processo [Vieira, 2001] .....	13
Figura 9 - Áreas de uma distribuição normal [Cabral, 2004] .....	14
Figura 10- Estrutura de um Diagrama de Causa-Efeito de <i>Ishikawa</i> [Pekar, 1995].....	16
Figura 11 - Componentes de um disjuntor: neutros, térmicos e magnéticos .....	19
Figura 12 - Preparação da máquina no início de cada operação .....	19
Figura 13 – Operação de soldadura contacto-trança.....	19
Figura 14- Operação de soldadura pista de arco-trança .....	20
Figura 15 – Operação de soldadura <i>shunt</i> -trança .....	20
Figura 16 - Operação de soldadura bimetálica-pista de arco.....	20
Figura 17 – Operação de soldadura bimetálica-trança.....	20
Figura 18- Operação de soldadura borne-trança.....	21
Figura 19 - Operação de rebarba, montagem de bimetálica e ajuste de parafuso .....	21
Figura 20 - Operação de soldadura bobine-trança .....	21
Figura 21 – Operação de soldadura borne curto à trança .....	21
Figura 22 - Soldar contacto móvel à trança .....	22
Figura 23 – Operação de soldadura borne curto à trança .....	22
Figura 24 - Fluxograma do controlo estatístico e as suas respetivas subdivisões.....	24
Figura 25 - Fluxograma da análise do aparecimento dos vários tipos de defeitos existentes .....	26
Figura 26 - Diagrama de Pareto referente às causas dos defeitos .....	27
Figura 27 - Diagrama de causa - efeito: bobinas não conformes (detetadas nos testes) .....	28
Figura 28 - Carta de controlo das amplitudes, associada ao borne curto (neutro).....	32
Figura 29 - Carta de controlo das médias - borne curto (neutro).....	32
Figura 30 - Cartas de controlo das médias - contacto móvel (neutro).....	33
Figura 31 - Carta de controlo das amplitudes - pista de arco (neutro) .....	33
Figura 32 - Carta de controlo das médias - pista de arco (neutro) .....	34



Figura 33 - Carta de controlo das médias: borne curto – trança preta .....	34
Figura 34 - Carta de controlo das médias: bimetálico .....	35
Figura 35 - Contentores de bobinas utilizados na produção .....	41
Figura 36 - Supermercado das tranças e dos restantes elementos antes da intervenção.....	42
Figura 37 - Supermercado das tranças e dos restantes elementos após a intervenção.....	42
Figura 38 – Núcleo com fita adesiva .....	44
Figura 39 - Protótipo para os <i>blisters</i> do núcleo AC .....	44

## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Os tipos de desperdício [Imai, 1997] e [Bicheno et al, 2009] .....	5
Tabela 2 - Explicação do Ciclo PDCA [Pedrosa Dias, 2006] .....	6
Tabela 3 - Símbolos e significados da ferramenta: Fluxograma [Branco, 2008] .....	8
Tabela 4 - Legenda para a Matriz GUT [Rempel, 2009] .....	11
Tabela 5 - Regras de situações descontrolo [Cabral, 2004] .....	13
Tabela 6 - Classificação – Severidade [Branco, 2008] .....	17
Tabela 7 - Classificação – Ocorrência e Detecção [Branco, 2008] .....	17
Tabela 8 - Legenda da pontuação dos fatores [Rempel, 2009] .....	18
Tabela 9 - Função das máquinas na área da soldadura .....	29
Tabela 10 - <i>Jigs</i> e elétrodos da operação de soldadura .....	30
Tabela 11 - Limites calculados a partir das amostras para cada uma das cartas de controlo: média e amplitude .....	31
Tabela 12 – Resumo da análise efetuada às restantes das cartas de controlo obtidas do processo..	35
Tabela 13 - Causas especiais detetadas no modelo 2P15/45 e a suas soluções.....	37
Tabela 14 - Legenda do sistema <i>sentinel</i> .....	37
Tabela 15 - Limites calculados a partir das amostras estabilizadas para cada uma das cartas de controlo: média e amplitude .....	38
Tabela 16 - Problemas e alternativas de soluções .....	39
Tabela 17 - Classificação dos elementos da Matriz R.A.B. ....	40
Tabela 18 - Ensaio para verificar a quantidade de rejeição de térmicos .....	43
Tabela 19 - Ensaio para verificar a quantidade de rejeição de bobines .....	43

## 1. Introdução

Atualmente, assiste-se a uma constante alteração dos mercados devido a fatores políticos, tecnológicos, económicos e sociais que tornam os clientes cada vez mais exigentes e a concorrência cada vez maior. Esta concorrência obriga a criar valor para os clientes, a fim de os fidelizar de forma a garantir uma posição no mercado.

Neste sentido, as organizações necessitam de se desenvolverem de uma forma sustentável, sendo a competitividade um dos fatores-chave para o seu sucesso. Para tal, é essencial uma gestão eficiente dos recursos (humanos, conhecimentos e materiais) e dos processos de negócio, de modo a atenuar possíveis dificuldades que possam surgir na organização.

A redução de desperdícios é cada vez mais um foco nas organizações, pois acarreta custos traduzidos em tempos de reprocessamento, movimentação desnecessária, excesso de produção e *stocks*. Deste facto, resulta insatisfação do cliente face à qualidade e atrasos nos prazos de entrega do produto.

Na procura pela redução de desperdício nas organizações, estas devem formar equipas multidisciplinares com objetivo de melhorar a qualidade e produtividade. É essencial fazer um esforço contínuo na formação dos colaboradores, com intuito de criar uma cultura onde toda equipa trabalha por um objetivo comum.

Neste contexto, a *General Electric* (GE), indústria de material elétrico, propôs a realização de um projeto com o objetivo de reduzir os defeitos nos elementos montados no processo de soldadura.

Neste primeiro capítulo, são apresentadas a empresa onde o projeto foi desenvolvido, a metodologia seguida e a organização do presente relatório.

### 1.1 Apresentação da *General Electric*s

A GE foi fundada por *Thomas Alva Edison* e *Grosvenor P. Lowery*, em *New Jersey* (EUA), no ano de 1878, com objetivo de produzir sistemas de iluminação comercialmente viáveis. A GE criou a primeira lâmpada de filamentos de carbono, a qual tinha capacidade de permanecer acesa durante 40 horas.

Por volta da década de 70, necessitando de ser rápida em impor a melhoria contínua para fazer face à concorrência, a empresa teve que eliminar as barreiras internas de funcionamento e assim, conseguir uma comunicação mais eficaz. Desta implementação resultou a crescente melhoria da qualidade dos seus produtos.

#### O Mundo GE

A GE tem uma variedade de negócios no seu portfólio, divididos em cinco grandes áreas: Tecnologia e Infraestrutura (operações com equipamentos médicos e transportes), Energia (relações com o setor enérgico, como o hídrico, o nuclear, o solar e o gás), NBC Universal (comunicação e entretenimento), Soluções domésticas e empresariais (lâmpadas, plataformas inteligentes e eletrodomésticos) e, por fim, Capital (serviços financeiros).

Na Figura 1, são apresentadas áreas de negócio a que a multinacional *General Electric* se dedica.



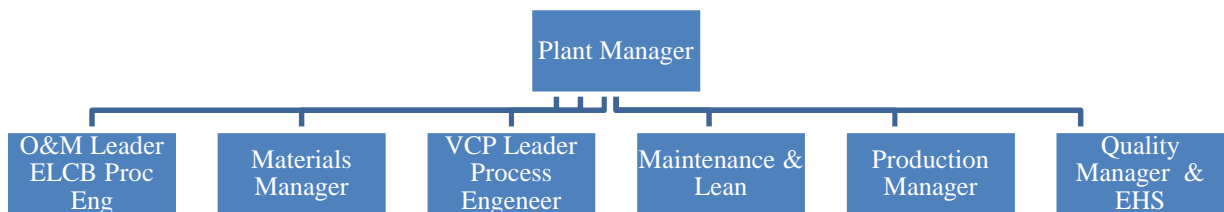
**Figura 1 – Principais áreas de negócio do grupo GE**

### A GE em Portugal

Em Portugal, a GE está sediada em Vila Nova de Gaia e encontra-se principalmente vocacionada para a produção de produtos de baixa e média tensão, aparelhagem industrial e residencial de corte e proteção.

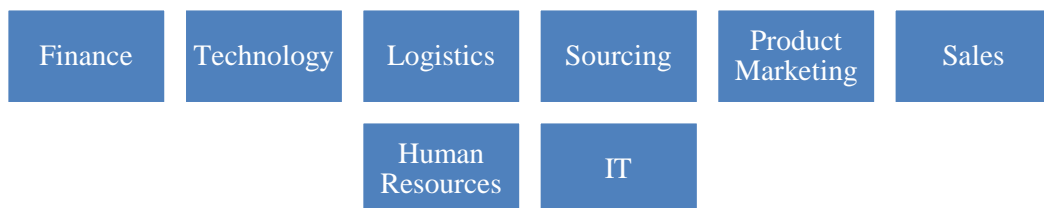
Os principais clientes dos produtos desta empresa são fabricante de máquinas, instaladores de quadros elétricos e distribuidores em todo mundo.

Na Figura 2, é apresentado o organograma da empresa.



**Figura 2 - Estrutura Organizacional**

Esta estrutura organizacional necessita das seguintes funções de suporte para que a atividade se desenrole com naturalidade (Figura 3).

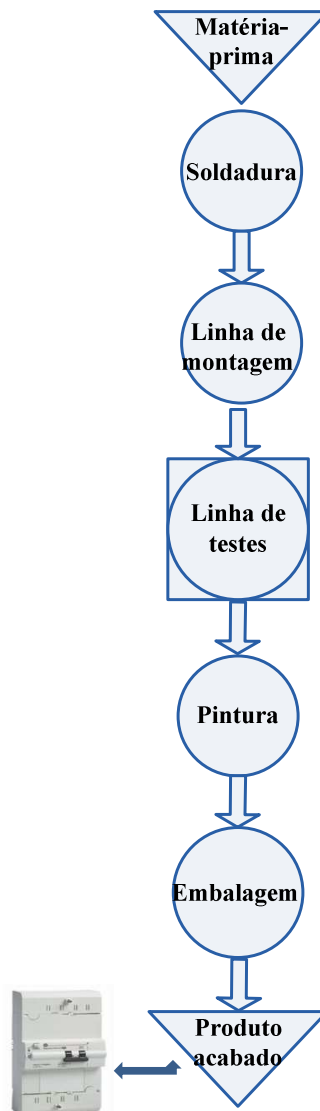


**Figura 3 - Funções de suporte à Estrutura organizacional**

Uma vez que o presente projeto de dissertação incide sob o processo produtivo de disjuntores de baixa tensão, seguidamente são apresentadas as etapas que os constituem.

### Processo produtivo dos disjuntores de baixa tensão

Na Figura 4, é apresentado o Fluxograma do processo produtivo dos disjuntores de baixa tensão.



**Figura 4 - Fluxograma do processo produtivo dos disjuntores de baixa tensão**

Inicialmente, são produzidas caixa plásticas para os disjuntores, e a partir de metais são produzidos os bimetais e *shunts*.

Na soldadura, é realizada a junção de vários elementos para produzir os componentes (térmicos, magnéticos e neutros) que constituem os disjuntores.

Na linha de montagem, são colocados estes componentes nas caixas plásticas, de forma funcional.

Na linha de testes, os disjuntores são testados, com o intuito de verificar se estão a funcionar adequadamente. Aqueles disjuntores que estiverem a funcionar adequadamente são encaminhados para a pintura, sendo esta realizada sobre as caixas dos disjuntores conforme o pedido dos clientes.

Por fim, na embalagem, são acondicionados os disjuntores para posterior entrega ao cliente.

## **1.2 O Projeto Redução dos Defeitos na GE**

Perante o objetivo do projeto a realizar na *GE Power Controls*, será necessário dividir a organização do trabalho em duas partes distintas: o controlo estatístico do processo de soldadura e a identificação das causas do aparecimento de defeitos, que determina o método de análise de todo o projeto.

No controlo estatístico do processo, serão analisadas as várias operações de controlo executadas a cada elemento, visando o dimensionamento das amostras recolhidas e o procedimento a adotar na realização das cartas de controlo.

A abordagem a este assunto envolverá uma metodologia baseada na recolha e análise de dados dos elementos aplicados no modelo de disjuntor ELCB, de forma a garantir a qualidade dos elementos soldados, sem que se gere desperdício.

Segue-se a identificação das causas do aparecimento de defeitos. Analisar-se-ão as inúmeras causas que originam elementos não-conformes, de modo a identificarem-se oportunidades de melhoria.

Posteriormente, realizar-se-á o estudo dos problemas do processo através de ferramentas de análise, como os diagramas de Pareto e de Ishikawa. Com isto, pretende-se constatar os problemas que, uma vez resolvidos, serão mais notórios para a melhoria do desempenho no processo da soldadura.

Por fim, proceder-se-á à conceção e validação de soluções, bem como à determinação dos seus planos de ação na fase de implementação.

## **1.3 Organização da dissertação**

O presente projeto de dissertação está dividido em cinco capítulos.

O primeiro é constituído pelo enquadramento relativo ao tema. Nele são abordados temas como o objetivo do trabalho, a apresentação da empresa, o método seguido no projeto e a própria estrutura do documento.

O segundo é composto pelo Enquadramento Teórico, onde são claramente definidos os conceitos e toda a fundamentação teórica utilizada como suporte na realização do projeto. Refere-se essencialmente a informação importante relativamente a análises, estudos e teoria recolhida em bibliografia direta e indiretamente relacionada com o projeto.

Nos terceiro e quarto capítulos do documento, são apresentadas as aplicações práticas dos assuntos abordados no capítulo anterior, de forma a ir ao encontro do objetivo proposto inicialmente.

No último capítulo, Conclusões, como o próprio nome indica, são efetuadas as ilações finais relativamente a todo o trabalho realizado, pretendendo-se comparar os resultados obtidos com o objetivo inicialmente proposto. São ainda referidas propostas para trabalhos futuros.

## 2. Enquadramento Teórico

### 2.1 Os Sete Desperdícios

A filosofia *Lean* surgiu na Toyota e consiste em utilizar na produção somente a quantidade necessária com o mínimo de recursos, garantido assim a ausência de desperdícios e uma elevada eficiência operacional. Procura ainda fazer bem à primeira, de forma eficaz e consistente. Segundo Womack e Jones (2003), o *Lean* é mencionado como o “antídoto para o desperdício”.

O desperdício (*muda*) é toda a atividade que não acrescenta valor, é tudo aquilo pelo qual o cliente não está disposto a pagar, pois absorve recursos e tempo e, em última análise, faz com que o produto ou serviço se torne mais dispendioso do que devia [Pinto, 2008].

Assim sendo, para se conseguir eliminar esse desperdício, é indispensável conhecer os setes tipos de desperdícios identificados pelo Sistema Toyota de Produção (Tabela 1).

**Tabela 1 - Os tipos de desperdício [Imai, 1997] e [Bicheno et al, 2009]**

<b>Tipos de desperdícios</b>	<b>Síntese</b>
<b>Excesso de produção</b>	Produção executada antes da necessidade efetiva, originando quantidades superiores à necessária. Segundo Ohno (1997), este é o desperdício que pode esconder outros tipos de desperdícios e o mais difícil de eliminar.
<b>Inventário</b>	Stocks intermédios entre as operações ou stocks de produtos acabados. Estes desperdícios provocam o encobrimento de outras perdas como, por exemplo, a necessidade de mais mão-de-obra, equipamentos, movimentação e espaço físico na organização para transportar e armazenar stock.
<b>Transporte</b>	O movimento dos produtos é uma atividade que não agrega valor. É considerado um desperdício que deve ser reduzido ou até eliminado. As melhorias mais significativas são as mudanças de <i>layout</i> que permitem reduzir ou eliminar as movimentações de materiais (Ghinato, 2000).
<b>Falta de qualidade</b>	Produtos que necessitam de reprocessamento ou tornam-se sucata. A sua eliminação é apenas conseguida quando eliminada a causa base do problema.
<b>Processos inadequados</b>	Execução do trabalho de uma forma complexa ou errada, em vez de efetuar o trabalho de uma forma mais simples, que pode ser a mais eficaz.
<b>Manuseamento ou movimento</b>	Movimentos desnecessários por parte dos recursos humanos. Podem ser eliminados através do estudo de tempos e movimentos.
<b>Tempo em espera</b>	Tempo que o(s) colaborador(es) e/ou máquinas ficam à espera do produto, para completar a sua função.

Cada vez mais, este sistema difunde-se em todo o mundo, tornando-se um fator de competitividade, quando conseguido três fatores fundamentais: qualidade, custo e prazo.

## 2.2 Melhoria da Qualidade

A melhoria da qualidade é um processo contínuo, sistemático e incremental. Sendo a melhoria contínua um dos pilares fundamentais da gestão pela qualidade total, muitas entidades empenhadas no desenvolvimento e implementação de tais metodologias desenvolveram, ao longo dos tempos, atitudes e técnicas (ferramentas) que tornam possível o progresso e melhoria da qualidade [Gama,2001].

O processo de melhoria contínua assenta em dois vetores determinantes:

- a filosofia;
- as técnicas (ferramentas) de resolução de problemas [Gama,2001].

Segundo Barbará (2006), na filosofia deve-se dar ênfase à orientação para o cliente e ao envolvimento de todos no processo de melhoria, recorrendo a ferramentas que, de acordo com Brassard (1996), geram a própria melhoria da qualidade.

Assim, existe a necessidade de utilização de ciclos de melhoria, como o ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*), de modo a organizar e orientar, de maneira eficaz e eficiente, a preparação e a execução das atividades planeadas [Imai, 1997].

Este ciclo de melhoria baseia-se na necessidade de entender na totalidade um processo, antes de se progredir para o seu aperfeiçoamento ou controlo, e permite a melhoria contínua de processos e de soluções de problemas [Imai, 1997].

Na Tabela 2, podem verificar-se a ordem (através do fluxo), as fases e os objetivos do PDCA. A letra “P” significa planejar, ou seja, projetar o que se pretende realizar, num determinado período de tempo e quais as ações a desenvolver para tal se conseguir; “D” significa executar, ou seja, realizar qualquer situação que vá ao encontro dos objetivos ou estratégias desenvolvidas na fase do “planejar”; “C” significa verificar, isto é, avaliar os resultados desenvolvidos na execução e averiguar se se conseguiu atingir os objetivos pretendidos; “A” significa atuar, ou seja, garantir que os resultados atingidos na fase da verificação são efetiva e eficazmente conseguidos durante o normal funcionamento da organização, alcançando os objetivos planeados [Gama, 2001].

**Tabela 2 - Explicação do Ciclo PDCA [Pedrosa Dias, 2006]**

PDCA	Fluxo	Fase	Objetivo
<b>P</b>	1	Identificação do problema	Definição clara do problema e determinação da sua relevância
	2	Observação	Investigação das características específicas do problema com uma visão ampla e sob vários pontos de vista
	3	Investigação	Descoberta das causas fundamentais (raiz)
	4	Plano de ações	Conceção de um plano de ações capaz de atuar sobre as causas fundamentais
<b>D</b>	5	Ação	Bloquear as causas fundamentais
<b>C</b>	6	Verificação	Verificação efetiva do bloqueio
<b>A</b>	7	Padronização	Prevenção do reaparecimento do problema
	8	Conclusão	Revisão do processo de solução para trabalho futuro



Em função do ciclo *PDCA*, ter-se-ão em conta as ferramentas adequadas a utilizar para cada tipo de situação, quer seja para o planeamento e análise de dados, quer para a seriação e seleção de problemas e identificação das suas causas.

### 2.2.1 Ferramentas de Recolha e Análise de Dados

#### *Brainstorming*

Esta ferramenta não é nada mais que uma reunião em que são discutidas ideias, que surgem num curto espaço de tempo para a procura da melhoria contínua. Para tal, exige que sejam temporariamente suspensos os julgamentos feitos dentro do grupo que se encontra reunido, sendo o todo maior do que a soma das partes [Gama, 2001].

Esta ferramenta passa essencialmente por duas técnicas de trabalho em grupo:

- Fase criativa - todas as ideias valem e não devem rejeitadas (logo, não existe condenação);
- Fase de análise/crítica - às ideias que surgiram na fase criativa, são identificadas as vantagens e as desvantagens, sendo que, nesta fase passam por uma verificação da validade das ideias através do consenso [Roldão et al., 2007].

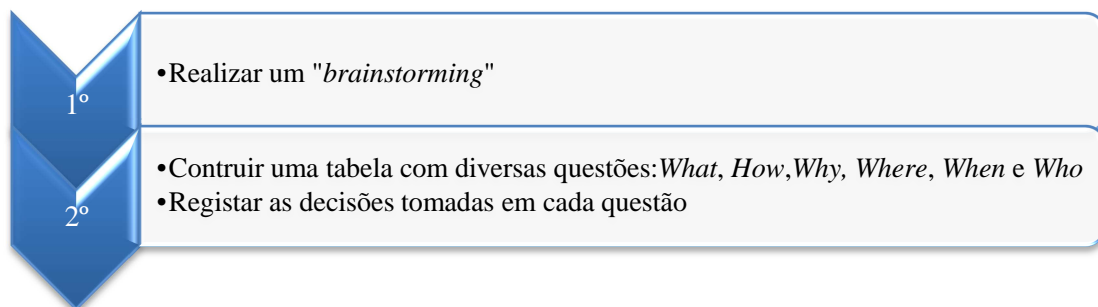
#### *5W1H*

É um documento estruturado por uma *checklist* de determinadas atividades, que define as ações a realizar e as responsabilidades de quem as irá executar, de modo perceptível por todos os colaboradores da organização, eliminando por completo a existência de dúvidas que possam surgir nas atividades ou ações que devem ser implementadas [Bicheno et al., 2009] e [Rocha, 2008].

Esta ferramenta é bastante simples e útil e abarca cinco questões:

- *What?* – O que será realizado (etapas);
- *How?* – Como deverá ser realizada cada tarefa/etapa (método);
- *Why?* – Porque deve ser executada a tarefa (justificativa);
- *Where?* – Onde cada etapa será executada (local);
- *When?* – Quando cada uma das tarefas deverá ser executada (tempo);
- *Who?* – Quem realizará as tarefas (responsabilidade) [Rossato, 1996].

Contudo, torna-se essencial seguir os seguintes passos para a sua construção (Figura 5):



**Figura 5 - Passos a seguir com 5W1H**

## Fluxograma



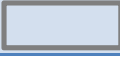









Um fluxograma é uma representação gráfica que demonstra todos os passos de um processo. A sua função é descrever e estudar um processo (atual ou ideal) ou planejar as etapas de um novo. Este destina-se a ilustrar de forma ordenada uma série de variáveis, etapas, entradas e saídas sequenciais que contribuirão para obter um produto ou serviço. [Gama, 2001]

As suas vantagens são as seguintes: identificar o fluxo atual ou ideal do acompanhamento de qualquer produto ou serviço, no sentido de identificar desvios; utilizar linguagem padrão de comunicação, através de símbolos simples; definir claramente os limites, que proporcionam uma visão global do processo; assegurar solução para todas as alternativas; verificar se as várias fases do processo estão relacionadas entre si e facilitar a identificação de clientes e fornecedores, indicando claramente o início e o fim do processo.

Quanto às suas desvantagens, estas são: a recolha de dados em excesso ou por defeito, erros de transcrição e a excessiva informação, que podem provocar mais desordem que simplificação [Rossato, 1996].

Na Tabela 3, encontram-se representados os símbolos utilizados aquando da construção do fluxograma.

**Tabela 3 - Símbolos e significados da ferramenta: Fluxograma [Branco, 2008]**

Área de serviços		Área de produção	
Símbolos	Significado	Símbolos	Significado
	Início e fim do processo		Início e fim do processo
	Ação/operação		Transporte
	Conector		Inspeção
	Arquivo		Armazenamento
	Documento/relatório		Espera
	Decisão		
	Setas de direção		

## Estratificação

A estratificação é uma ferramenta de grande utilidade para a análise de um processo. Esta pode comprovar factos que estejam ocultos no conjunto total de dados, não é mais que agrupar dados conforme determinadas características [César, 2011].

Este agrupamento pode ser feito antes da recolha de dados, quando se procuram limitadas ocorrências, ou seguidamente, quando se pretende detetar as causas do que está efetivamente a afetar os resultados [Pinto, 2009].

Esta ferramenta tem como vantagem verificar o impacto de determinada causa sobre o efeito em estudo e a ajuda na deteção de um problema.

A sua desvantagem é estratificação em excesso ou em defeito, por não permitir obter informações adequadas de um aglomerado de dados.

### **Folha de verificação**

É uma ferramenta que reúne dados para a observação dos problemas, facilitando a recolha e o registo dos dados. Ajuda a reunir factos sobre o processo e é construída após a definição das categorias na estratificação dos dados.

Esta recolha de dados não tem um padrão definido, podendo ser ajustada de acordo com os processos em concreto. O fundamental neste registo, para além dos dados, é saber quando e como influencia o processo. Outros pontos a ter em atenção e que não devem ser esquecidos no momento do registo são: a definição clara do objetivo, a obtenção de contabilização nas medições e o registo dos dados de uma forma organizada e clara [Pinto, 2009].

## **2.2.2 Análise, Seriação e Seleção de Problemas**

### **Diagrama de Pareto**

O diagrama de Pareto é um recurso gráfico utilizado para estabelecer uma quantificação e priorização das causas de uma dada situação. É formado por um gráfico de barras verticais, cujo objetivo é determinar quais os problemas a serem primeiramente resolvidos.

Frequentemente, é elaborado com base nas fontes de recolha de dados.

Ajuda a focar os problemas ou assuntos realmente importantes, separando o importante do trivial, de maneira a obter melhores resultados quando a atuação ocorre nas barras de maior valor.

Basicamente, o princípio de Pareto refere que a maioria dos efeitos está relacionada com um número reduzido de causas. Em termos práticos, pode dizer-se que 80% dos problemas são causados por 20% dos equipamentos, materiais, fornecedores ou pessoas [Pinto, 2009] e [Branco, 2008].

Na Figuras 6, é possível verificar a metodologia utilizada na construção de um Diagrama de Pareto, exemplificado na Figura 7.

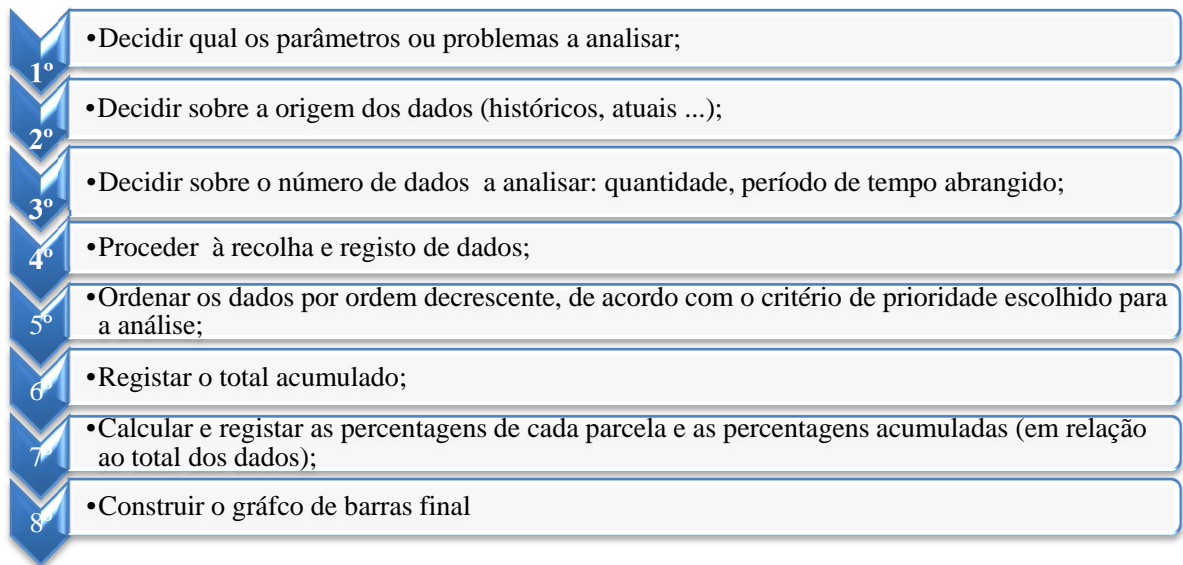


Figura 6 - Metodologia para a construção de um Diagrama de Pareto

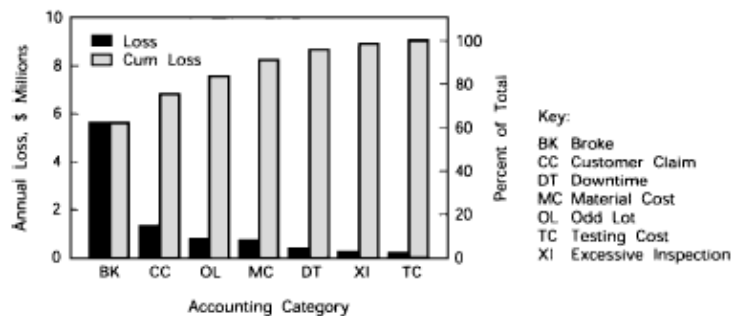


Figura 7 - Exemplo de um Diagrama de Pareto [Juran et al.,1999]

### Matriz de GUT- Gravidade, Urgência e Tendência

A matriz GUT compila um conjunto de parâmetros que estabelecem prioridades na eliminação de problemas, especialmente se forem diversos e relacionados entre si. A matriz GUT foi desenvolvida com objetivo de ajudar na tomada de decisões mais complexas, decisões estas que geram maior confusão, caso não se priorizasse na solução os problemas detetados [Rempel, 2009].

Para a aplicação desta ferramenta, é necessário formular algumas questões, tais como:

- Qual é a gravidade do desvio? Qual o impacto do problema sobre coisas, pessoas, resultados? Que efeitos surgirão a longo prazo, caso o problema não seja corrigido?
- Qual é a urgência para eliminar o problema? A resposta está relacionada com o tempo disponível para resolvê-lo
- Qual é a tendência do desvio e o seu potencial crescimento? Será que o problema se tornará progressivamente maior?

Na Tabela 4, é apresentada uma legenda para a Matriz GUT.

**Tabela 4 - Legenda para a Matriz GUT [Rempel, 2009]**

<b>Gravidade</b>	<b>Urgência</b>	<b>Tendência</b>
O prejuízo que poderá decorrer da situação será:	Quando será necessário tomar uma decisão:	Se não se fizer rigorosamente nada, a situação tenderá a:
Imenso Nota=5	Imediatamente Nota=5	Piorar Nota=5
Mais ou menos Nota=3	Pode aguardar Nota=3	Manter-se Nota=3
Pequeno Nota=1	Não há pressa Nota=1	Melhorar Nota=1

## **Cartas de Controlo**

As cartas de controlo permitem acompanhar as variações da qualidade de um determinado processo produtivo, de forma a avaliar a estabilidade do mesmo, sendo uma valiosa ajuda na determinação de melhorias na produção [Cabral, 2004].

Estas cartas têm três aplicações fundamentais: determinar a capacidade de um processo produtivo, orientar as intervenções no processo produtivo com o intuito de melhorar a qualidade do produto e, por fim, controlar esse mesmo produto [Cabral, 2004].

## **Tipos de cartas**

Existem dois tipos de cartas de controlo: por atributos e por variáveis.

As cartas por atributos baseiam-se em dados quantitativos discretos ou contagens, ou mesmo proporções ou percentagens. As cartas por variáveis são construídas a partir de estatísticas que derivam de dados quantitativos contínuos; são mais sensíveis e apuradas, no que respeita à análise de processos. É comum utilizarem-se as cartas por variáveis aos pares, em que numa analisa-se o parâmetro da variabilidade do processo (normalmente através do desvio-padrão ou da amplitude) e, na outra, o parâmetro da tendência central (usualmente valor esperado).

No grupo das cartas por atributos, existem quatro tipos: Np, p, c e u.

Nas cartas Np e p, as amostras de variável aleatória podem tomar dois valores: defeituosas e não defeituosas. Estas cartas são utilizadas quando a característica da qualidade consiste no número de unidades defeituosas (Np) ou na proporção de unidades defeituosas (p). Quando a dimensão da amostra (N) for constante, pode-se recorrer a qualquer uma das cartas anteriores. Quando N for variável, recorre-se à carta p. Assim, estas variáveis seguem uma distribuição binomial, pois o que se verifica é o número e a percentagem de defeitos encontrados em cada amostra. Portanto, a estimativa do valor esperado da variável desta distribuição é o número ou a percentagem de defeitos encontrados em cada amostra, verificados durante um período experimental.

As cartas c e u são utilizadas para controlar e analisar processos de situações em que a variável em consideração é o número de ocorrências/unidades (exemplo: número de defeitos na pintura por automóvel). Se a dimensão de cada unidade for constante, é utilizada a carta c (número de defeitos). Caso contrário, usa-se a carta u (número de

defeitos por unidade). Deste modo, as variáveis assumem uma distribuição Poisson, pois, quando determinado produto é produzido, existem muitas probabilidades de surgir defeitos, apesar da probabilidade de surgirem num determinado local ser pequena. Assim, estimativa do valor esperado da variável em análise desta distribuição representa o número médio de defeitos por unidade.

No grupo das cartas por variáveis, existem três tipos:  $(\bar{x}; s)$ ,  $(\bar{x}; A)$  e  $(\bar{x}; A_{móvel})$ .

Nas cartas  $(\bar{x}; s)$ ,  $\bar{x}$  representa a carta das médias e  $s$  o desvio padrão amostral. Estas cartas geralmente utilizam-se em conjunto para detetar alterações na distribuição subjacente, tanto no que respeita à tendência central (carta  $\bar{x}$ ) como à dispersão (carta  $s$ ). Seguem aproximadamente uma distribuição normal e utilizam-se quando a dimensão da amostra é superior 4.

As cartas  $(\bar{x}; A)$  têm os mesmos objetivos que as anteriores. Porém, é preferível utilizar a carta das amplitudes quando a dimensão das amostras é inferior ou igual a 4.

Por fim, as cartas  $(\bar{x}; A_{móvel})$ , cartas dos valores individuais e da amplitude móvel, são utilizadas quando a amostra é constituída por apenas uma observação, não sendo possível medir a variabilidade dentro de cada amostra [Cabral, 2004].

### **Causas da variação do processo**

Como em qualquer processo, a análise realizada às causas de variabilidade do mesmo podem ocorrer nas cartas anteriormente referidas. Estas podem ser:

- Causas comuns (aleatórias e sistemáticas) referem-se a muitas fontes de variação existentes no processo que têm uma distribuição estável e que se repetem ao longo do tempo. Quando apenas estão presentes causas comuns de variação e se estas se mantêm, é previsível o resultado do processo. Diz-se então que o processo está sob controlo estatístico;
- Causas especiais (também designadas por causas assinaláveis) dizem respeito a quaisquer fatores causadores de variação que têm uma atuação não repetitiva no processo, isto é, quando ocorrem, provocam uma alteração da distribuição do processo, gerando instabilidade ao longo do tempo, logo, imprevisível. Diz-se então que o processo se encontra fora de controlo [Vieira, 2001].

Assim, segundo Rossato (1996), as cartas de controlo servem para verificar se o processo está ou não em controlo, através do uso de métodos estatísticos que analisam as mudanças dentro do processo, tendo por base dados de amostragem.

Na Figura 8, são explicadas as causas de variação do processo que podem ocorrer nas cartas de controlo.

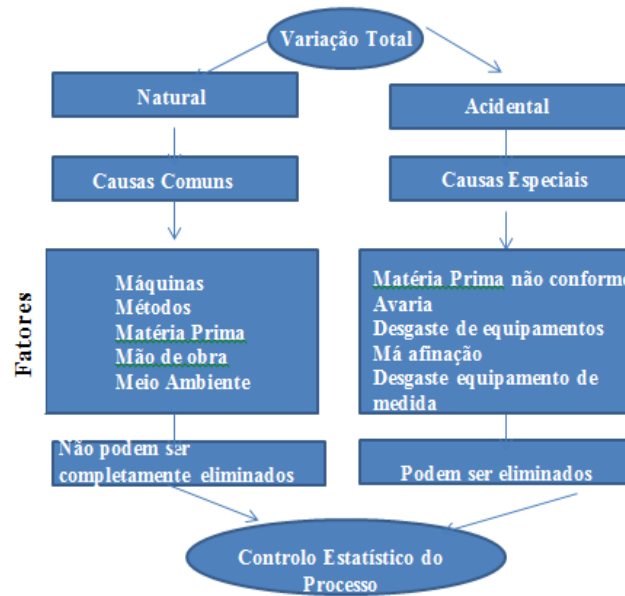


Figura 8 - Causas de variação do processo [Vieira, 2001]

### Regras de situação de descontrolo

Outro aspeto a ter em conta nas cartas de controlo é a análise das sequências de pontos que permite aumentar a capacidade de diagnóstico nas situações de descontrolo, ou seja, mostra a presença de causas especiais. Contudo, esta análise deve ser cautelosa, pois podem surgir possíveis falsos alarmes (de descontrolo) indicados por essas mesmas regras de sinalização (Tabela 5).

Tabela 5 - Regras de situações descontrolo [Cabral, 2004]

<b>1 - Pontos fora dos limites de controlo</b>	Todos os pontos individuais que se encontram fora dos limites de controlo de processo
<b>2 - Sequência anormal de pontos</b>	a) Oito pontos sucessivos acima ou abaixo da linha central
	b) Quatro pontos entre cinco sucessivos acima da linha +1 sigma ou quatro pontos entre cinco sucessivos abaixo da linha -1 sigma
	c) Dois pontos entre três sucessivos acima da linha +2 sigma ou dois pontos entre três sucessivos abaixo da linha -2 sigma
<b>3 - Padrões anormais de evolução</b>	a) Tendências – sete ou mais pontos sucessivos a subir ou a descer (ou uma tendência evidente)
	b) Grandes oscilações – de entre três pontos sucessivos existir um entre o limite superior de controlo e a linha +2 sigma e outro entre o limite inferior de controlo e a linha -2 sigma
	c) Proximidade da linha central – quase todos os pontos colocados dentro da área limitada pelas linhas $\pm 1,5$ sigma (provável indicação da mistura da população com diferentes valores esperados)
	d) Periodicidade, auto correlação negativa e positiva

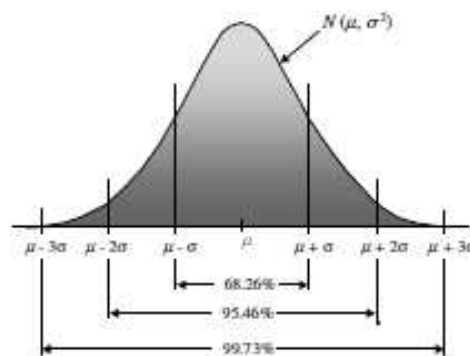
### Limites de variação de um processo:

O controlo estatístico executado nas cartas de controlo face às causas de variação do processo abrange dois tipos de limites: o de controlo e o de especificação. O primeiro é

determinado em função da variabilidade do processo, enquanto o segundo é fixado pelos requisitos dos clientes, definidos na fase de projeto.

Quanto aos limites de controlo, o conhecimento das variações do processo no passado ou no período em questão permite prever a distribuição das variações futuras. Após a distribuição ter sido identificada, a dispersão das amostras do produto indica o estado do processo.

Neste sentido, a distribuição normal representada na Figura 9 é a mais usual, devido à sua adequação à amostragem de variáveis, resultado das médias das amostras pequenas terem a mesma tendência da distribuição. Esta distribuição fica então definida por média e variância. Supondo que a média da amostra fica longe, a distribuição poderá não ser representativa do processo e este estar, desta forma, fora de controlo [Cabral, 2004].



**Figura 9 - Áreas de uma distribuição normal [Cabral, 2004]**

Usualmente, fixa-se os limites de controlo (inferior e superior) considerando 3 vezes o desvio padrão da população ( $3\sigma$ ). Isto significa que uma amostra tem apenas três oportunidades em mil de sair dos limites quando o processo se encontra dentro de controlo, de forma a detetar uma alteração ao controlo do processo.

A escolha dos limites de controlo a 3 vezes o desvio-padrão dá-se segundo os dois tipos de erros. O primeiro, chamado erro do tipo I (ocorre sempre que é diagnosticada a presença de uma causa especial de variação, estando apenas presentes causas comuns), tem uma probabilidade de 0,27% de ocorrer (Figura 9). O segundo, chamado do tipo II (associado a situações de previsão da dispersão do processo), ocorre em causas comuns de variação e na presença de causas especiais de variação [Vieira, 2001].

A Linha Central (LC) corresponde ao valor  $\mu$  (valor esperado), enquanto que o Limite Inferior de Controlo (LIC) corresponde  $\mu - 3\sigma$  e o Limite Superior de Controlo (LSC) corresponde  $\mu + 3\sigma$  da Figura 9.

Como foi referido, os limites de controlo são determinados a partir de estimativas calculadas em dados históricos. Contudo, se os dados estiverem contaminados pelos resultados originados pelas causas especiais, os limites vão obter a variação incutida por essas causas e, no futuro, as cartas de controlo vão ser insensíveis à sua presença. Portanto, é necessário saber quais as regras a seguir para a recolha de dados, de modo a tornar possível calcular os limites de controlo. Estas regras são essencialmente a recolha de  $k$  amostras de dimensão  $N$ , que deverão estar em condições previamente estabilizadas (mesma máquina e as mesmas ferramentas) e designadas por amostragem



“racional”. O objetivo é verificar a variação entre elementos de cada amostra (variação dentro da amostra) resultando somente das causas comuns e verificar as diferenças de amostra para amostra (variações entre amostra) é que podem ocorrer as causas assinaláveis [Cabral, 2004].

Quanto aos limites de especificação, podem ser chamados também de limites de tolerância. São utilizados na avaliação do objetivo através do uso do coeficiente de capacidade do processo ( $C_p$ ). A capacidade é a razão do intervalo de especificação (LSE - LIE) pela faixa característica do processo ( $6\sigma$ ) e pode-se calcular utilizando a seguinte fórmula:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma},$$

Tal como nos limites de controlo, os limites de especificação representam  $\pm 3$  desvios-padrões. Contudo, a capacidade do processo não indica especificamente o quanto está o seu desempenho. Assim, é necessário calcular o índice de capacidade ( $C_{pk}$ ) para se determinar se a média do processo está próxima do limite de superior de especificação (LSE) ou do inferior (LIE), conforme na fórmula a seguir:

$$C_{pk} = \min \left[ \frac{\bar{x} - LSE}{3\sigma}, \frac{\bar{x} - LIE}{3\sigma} \right],$$

em que  $\bar{x}$  é a média para a amostra.

Segundo Grant (1988), se o valor de  $C_p$  (capacidade do processo) for inferior a 1, o processo é incapaz; se estiver no intervalo [1; 1,33], o processo é aceitável; caso seja superior a 1,33, o processo é capaz.

Quando  $C_{pk}$  é igual a  $C_p$ , então a média do processo encontra-se centrada entre os dois limites de especificação. Caso contrário, a média do processo aproximar-se-á do limite de especificação correspondente ao menor valor [Ruther et al., 2006]

### 2.2.3 Identificar as Causas dos Problemas Prioritários

#### Diagrama de *Ishikawa* (Causa e Efeito)

É uma ferramenta visual que tem como objetivo demonstrar a relação existente entre o resultado de um processo (efeito) e os fatores que influenciam esse mesmo resultado (causas). Este diagrama (Figura 10) serve para identificar, explorar, salientar e mapear fatores que podem influenciar um problema.

Segundo Pekar (1995), o *Ishikawa* pode ser construído através das regras dos 5M's (máquinas, matéria-prima, mão-de-obra, métodos e meio ambiente). Estas regras são designadas causas gerais, dado que têm influência direta no problema a ser resolvido. As causas de nível inferior, por sua vez, afetam diretamente o efeito em análise [Gama, 2001].

Em suma, este diagrama é um instrumento fundamental para descobrir as causas que produzem os efeitos indesejados.

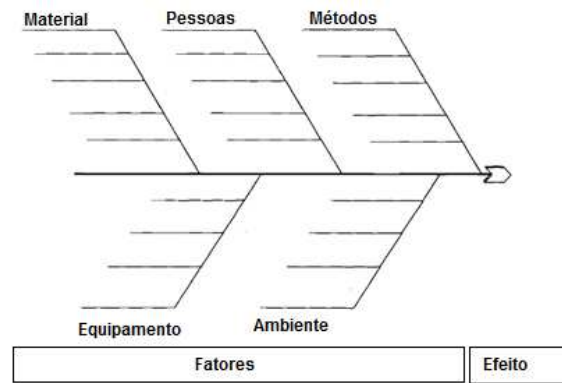


Figura 10- Estrutura de um Diagrama de Causa-Efeito de Ishikawa [Pekar, 1995]

A vantagem principal da utilização desta ferramenta é a de identificar e separar as causas explícitas num único efeito [Juran et al., 1999] e [Conger, 2011].

Contudo, há que ter em atenção as seguintes situações: todos os envolvidos devem participar na elaboração deste diagrama, para garantir que todas as causas sejam analisadas, sem sobrecarregar o mesmo (se necessário adicionar mais diagrama) e cada diagrama deve ter apenas um problema específico [Juran et al., 1999] e [Conger, 2011].

### FMEA – Análise do Tipo e Efeito de Falha

A análise FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) é uma ferramenta que visa avaliar e minimizar os riscos por meio da análise das possíveis falhas (determinação da causa, efeito e risco de cada tipo de falha) e implementar ações para aumentar a fiabilidade.

O objetivo primordial desta ferramenta é diminuir as situações de falha do produto ou processo durante a sua operação. Desta forma, procura aumentar a sua fiabilidade.

Esta ferramenta foi desenvolvida com o foco no projeto de novos produtos e processo. Atualmente o FMEA é uma ferramenta utilizada para diminuir falhas de produtos e processos existentes e para diminuir as falhas em processos administrativos.

#### Tipos de FMEA

As etapas e formas de realizar a análise do FMEA são as mesmas, diferenciando apenas em relação ao objeto. Assim, as análises FMEA's são classificadas por dois tipos: produto e processo.

No primeiro tipo, são consideradas as falhas que podem poderão acontecer com o produto dentro das especificações do projeto. O objetivo desta análise é evitar falhar de produto ou processo resultante do projeto. São também denominadas por FMEA de projeto.

No segundo tipo, são consideradas as falhas no planeamento e execução do processo. O objetivo desta análise é evitar falhas do processo, tendo por base as não conformidades do produto com as especificações do projeto.

A análise FMEA pode aplicar-se nas seguintes situações: diminuição da probabilidade da ocorrência de falhas em projetos de novos produtos e a probabilidade de falhas potenciais, isto é, que ainda não ocorreram, em produto/processos já em operação. Para ainda, aumentar a fiabilidade de produtos ou processos já em operação por meio de

análise das falhas que já ocorreram. Por último, para diminuir os riscos de erros e aumentar a qualidade em procedimentos administrativos [Toledo et al., 2006].

O princípio básico da metodologia consiste na avaliação do “Índice de Prioridade do Risco” associado a cada falha, de acordo com o esquema de classificação (níveis) previamente definido, em função dos seguintes fatores:

- Grau de Severidade (S) – este fator avalia o impacto a nível da insatisfação do cliente que a ocorrência da falha provoca;
- Probabilidade de Ocorrência (O) - este fator avalia a probabilidade de ocorrência de cada falha;
- Capacidade de Detecção (D) - este fator avalia a capacidade que o atual sistema tem para detetar as causas da falha, de modo a que a respetiva ocorrência seja evitada.

O Índice de Prioridade do Risco (IPR) obtém-se pelo produto dos níveis obtidos nos fatores anteriores, ou seja,  $IPR = S \cdot O \cdot D$ .

A partir dos resultados obtidos devem-se estabelecer ações de melhoria para minimizar os índices mais elevados, o que contribui para a melhoria do produto/serviço [Branco, 2008].

Nas Tabelas 6 e 7, encontram-se as classificações quanto à severidade, ocorrência e deteção.

**Tabela 6 - Classificação – Severidade [Branco, 2008]**

Índice	Severidade	Critério
1	Mínima	O cliente tem pouca perceção da ocorrência de falha
2 3	Ligeira	Ligeira deterioração no desempenho com leve descontentamento
4 5 6	Moderada	Deterioração significativa no desempenho de um sistema com descontentamento do cliente
7 8	Elevada	Avaria do sistema e grande descontentamento do cliente
9 10	Muito elevada	Idem ao anterior, mais prejuízo da segurança

**Tabela 7 - Classificação – Ocorrência e Deteção [Branco, 2008]**

Índice	Ocorrência	Proporção	Índice	Deteção	Critério
1	Remota	1:1.000.000	1 2	Muito Grande	Certamente será detetado
2 3	Baixa	1:20.000 1:4.000	3 4	Grande	Probabilidade elevada de ser detetado
4 5 6	Moderada	1:1.000 1:400 1:80	5 6	Moderada	Provavelmente será detetado
7 8	Alta	1:40 1:20	7 8	Pequena	Provavelmente não será detetado
9 10	Muito alta	1:8 1:2	9 10	Muito Pequena	Certamente não será detetado

## 2.2.4 Resolução dos Problemas

### Matriz R.A.B. – Rapidez, Autonomia e Benefício

A R.A.B. permite auxiliar na tomada de decisões e ordenar os itens de um plano de ações, através dos pesos atribuídos a cada um dos fatores de rapidez, autonomia e benefício e assim atingir uma pontuação. As pontuações mais elevadas correspondem às atividades que devem ser realizadas a curto prazo [Rempel, 2009].

Esta ferramenta apresenta as possíveis pontuações para cada um dos fatores descritos na Tabela 8.

**Tabela 8 - Legenda da pontuação dos fatores [Rempel, 2009]**

Rapidez			Autonomia			Benefício		
Em quanto tempo pode resolver-se o problema?			Até onde se pode ir para resolvê-lo?			Até onde se atingem os benefícios da resolução?		
1 a 3 meses	3 a 6 meses	6 meses a 1 ano	Supervisão	Gestão da área	Gestão da fábrica	Para além do setor	Só no setor	Só no grupo
5 pontos	3 pontos	1 ponto	5 pontos	3 pontos	1 ponto	5 pontos	3 pontos	1 ponto

Finalizada a apresentação de todos os temas que compõem o enquadramento teórico é apresentado de seguida o diagnóstico do processo de soldadura. Os temas abordados auxiliaram todo o trabalho prático realizado.

### 3. Diagnóstico do processo de soldadura

Neste capítulo, é apresentado o processo de soldadura, uma vez que neste incide o objetivo do projeto de dissertação.

Numa primeira fase, é descrito o processo de soldadura. Para melhor compreensão do seu funcionamento, é necessário descrever as etapas associadas a este processo. Na soldadura, ocorre a montagem de vários componentes elétricos (na empresa designados de subconjuntos) que, por sua vez, dão origem a um disjuntor. Os componentes podem ser de três tipos: neutros, térmicos e magnéticos (Figura 11). Cada um é composto por variados elementos; na sua essência são matéria-prima da unidade produtiva.



**Figura 11 - Componentes de um disjuntor: neutros, térmicos e magnéticos**

No início de cada operação, independentemente do elemento a utilizar, proceder-se-á à preparação da máquina (Figura 12). Esta preparação é imprescindível, pois cada elemento a ser soldado tem parâmetros de controlo de soldadura únicos devido às suas diferentes composições.



**Figura 12 - Preparação da máquina no início de cada operação**

Um componente térmico é composto pelos seguintes elementos: contato móvel, pista de arco, *shunt*, bimetálico, borne comprido e tranças. Para a sua montagem há que:

1. Soldar o contato móvel à trança;



**Figura 13 – Operação de soldadura contacto-trança**

2. Soldar a pista de arco à trança;



**Figura 14- Operação de soldadura pista de arco-trança**

3. Soldar o *shunt* à trança;



**Figura 15 – Operação de soldadura *shunt*-trança**

4. Soldar o bimetetal à pista de arco;



**Figura 16 - Operação de soldadura bimetetal-pista de arco**

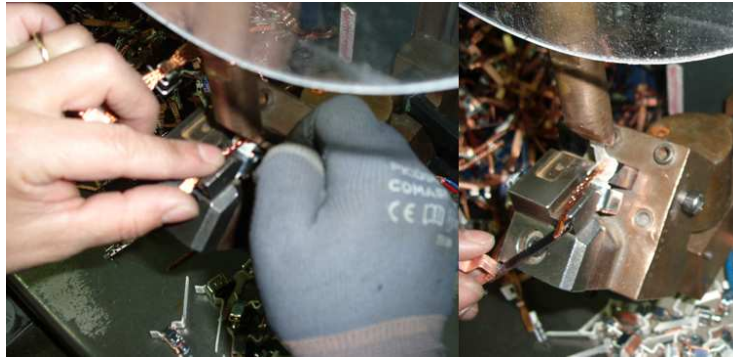
5. Soldar o bimetetal à trança;



**Figura 17 – Operação de soldadura bimetetal-trança**

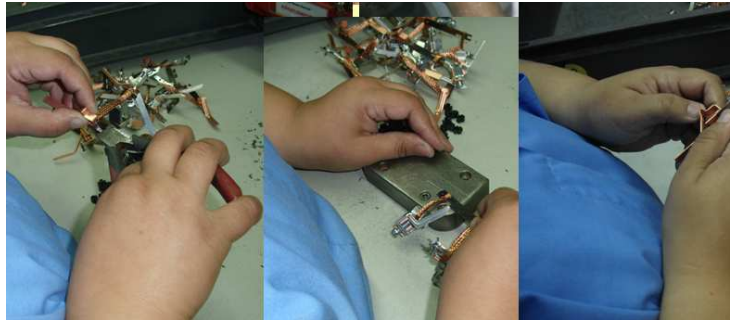


6. Soldar o borne comprido à trança;



**Figura 18- Operação de soldadura borne-trança**

7. Retirar a rebarba, montar a união do bimetálico e ajustar o parafuso



**Figura 19 - Operação de rebarba, montagem de bimetálico e ajuste de parafuso**

Os componentes magnéticos são, por sua vez sujeitos às seguintes fases:

1. Soldar a bobine à trança;



**Figura 20 - Operação de soldadura bobine-trança**

2. Soldar o borne curto à trança.



**Figura 21 – Operação de soldadura borne curto à trança**

Caso na operação descrita na Figura 21, forem incorporados núcleos do tipo S (seletivo) e do tipo AC (diferencial) antes da solda, o disjuntor resultante denomina-se, também ele, do tipo S e do tipo AC, respetivamente. Caso não seja incorporado nenhum núcleo, o disjuntor fabricado é do tipo ND (não diferencial).

No que diz respeito ao processo do componente neutro, as fases de fabrico incluem:

1. Soldar o contato móvel à trança;



**Figura 22 - Soldar contato móvel à trança**

2. Soldar a pista de arco à trança (é um processo semelhante ao da Figura 14, mas utilizando a trança do neutro da Figura 22);

3. Soldar o borne curto à trança;



**Figura 23 – Operação de soldadura borne curto à trança**

4. Retirar a rebarba, montar a união do bimetálico e ajustar o parafuso (processo idêntico ao observado na Figura 19).

Deste modo, para que os colaboradores possam fazer o seu trabalho sem interrupções, existe um afinador em cada turno, cuja função é reabastecer os materiais necessários a cada colaborador e promover as mudanças de ferramentas necessárias (*jigs* e *elétrodos*) para realizar a montagem dos elementos.

Apesar do processo global de soldadura ser basicamente um sistema de montagem de elementos, deste advêm diversos problemas, tais como a existência de defeitos nos elementos produzidos e problemas de controlo de qualidade.

Portanto, foi necessário verificar toda a produção do processo da soldadura. Esta verificação foi realizada com recurso a testes destrutivos, de tal modo que os elementos são inspecionados por amostragem.

De forma a identificarem-se os problemas associados ao processo, foi necessário conhecer os modelos dos disjuntores existentes e os seus respetivos componentes, quer sejam térmicos, magnéticos ou neutros (ver ANEXO A), para que se efetue o controlo estatístico do processo de soldadura e a análise das causas do aparecimento de defeitos.

Relativamente ao controlo estatístico do processo, a inspeção realizada através do teste às operações de soldadura era feita por amostragem, tendo como objetivo detetar todo e qualquer defeito existente. Esta inspeção era feita sobre amostras recolhidas com uma determinada frequência para verificar a tração da soldadura. Esta situação mostra que



não existia qualquer plano de amostragem que oferecesse a confiança desejada com um custo mínimo.

Quanto aos produtos não conformes (defeitos), estes resultam, por alguma razão, dos elementos que os constituem.

Assim, com o propósito de eliminar, ou se tal não for possível, reduzir o desperdício gerado na soldadura, efetuou-se uma recolha e posterior análise de dados obtidos do controlo estatístico do processo e dos produtos não conformes. Este método de análise está dividido em duas partes para melhor compreensão.

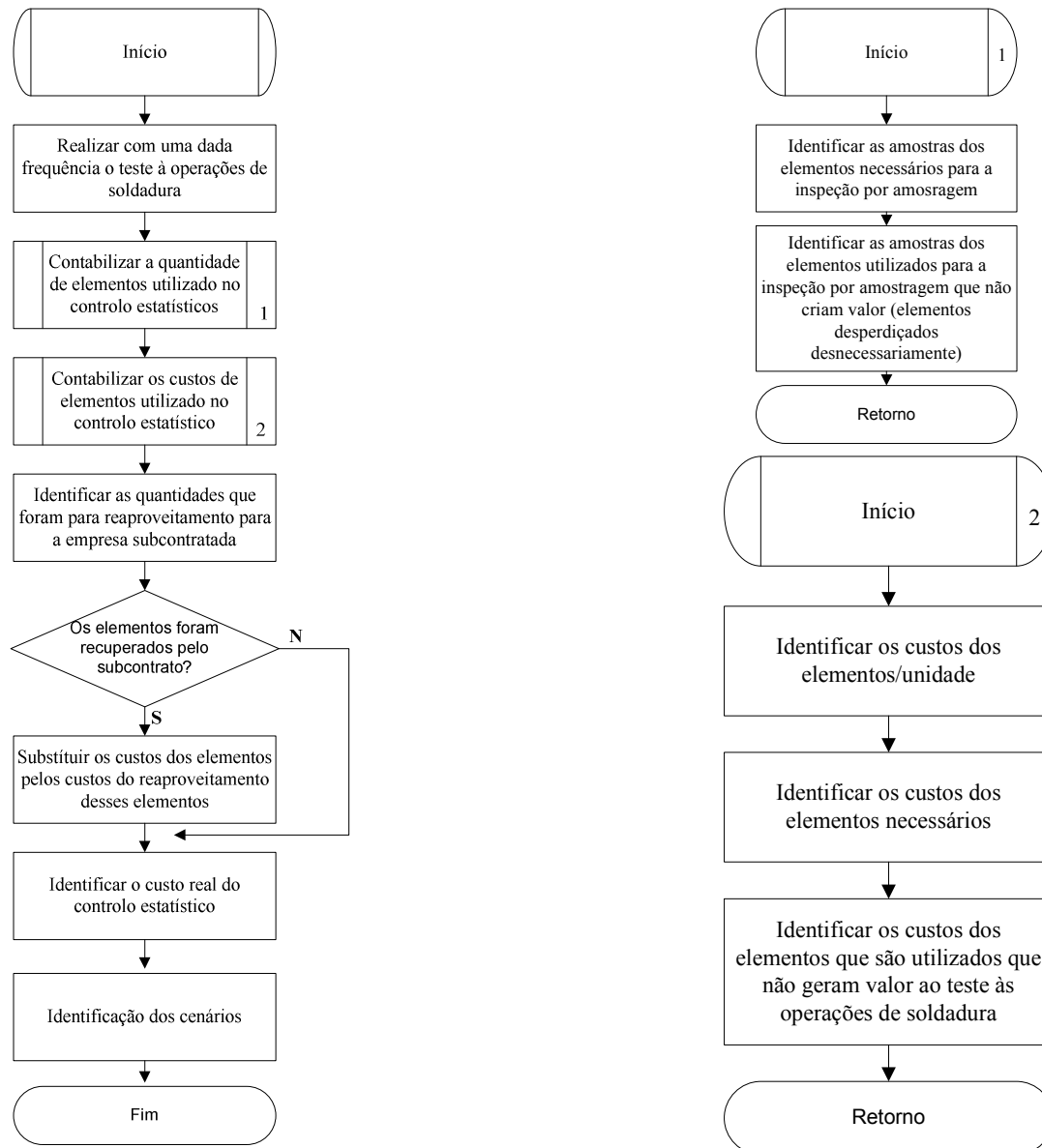
### **3.1 Controlo estatístico da qualidade inicial do processo de soldadura**

Para averiguar o estado de controlo inicial do processo foram identificados e analisados, sob a perspetiva dos custos (pré-análise), os desperdícios de elementos (materiais). Esta recolha é realizada de acordo com a metodologia atualmente aplicada pela empresa.

#### **3.1.1 Contabilização dos custos relativos ao controlo estatístico da qualidade inicial**

Antes de avançar para a contabilização dos custos, foi importante referenciar que o material utilizado para o controlo estatístico era material reaproveitado por uma empresa subcontratada.

Para se contabilizar os custos associados ao controlo estatístico, seguiu-se o fluxograma seguinte como metodologia de orientação para a realização dos testes às operações de soldadura (Figura 24).



**Figura 24 - Fluxograma do controlo estatístico e as suas respectivas subdivisões**

De acordo com o fluxograma anterior, foi preciso reunir toda a informação necessária ao estudo elaborado no ANEXO B. O estudo foi realizado em quatro etapas sobre os dados obtidos a partir dos diferentes tipos de arrancamentos. Seguidamente, contabilizaram-se os custos relativos aos três diferentes cenários: sucata, subcontratar e alocar material junto às máquinas.

Em função disto, o cenário que à partida seria o pior era o da “sucata”, pois os materiais utilizados não eram aproveitados, o que implicava um custo mensal médio de €680,00, equivalente a um valor anual de €8.155,00. No cenário “subcontratar”, apesar de se reaproveitarem elementos elétricos como o *shunt* e o contacto móvel, não se poderia reaproveitar os bimetais, as pistas de arco e as tranças, o que acarretava, para a empresa um custo médio semanal de €14,19, o que equivalia a €738,00/ano. Além desta situação (não se recuperarem determinados elementos), todos os materiais enviados para a empresa subcontratada para serem recuperados tinham um custo médio associado de

€58,92 por reaproveitamento e €43,47 em sucata. Exemplificando o valor gasto no mês de fevereiro com as peças que foram para a empresa de subcontrato foi de €58,92, o que estimativamente equivale a €707,00 anuais.

No que diz respeito ao cenário “alocar material junto às máquinas” (cenário proposto para minimização de custo relativos ao controlo estatístico da qualidade), este gerava um custo de €6,18/hora. Contudo, como seria um processo rápido, demoraria somente cerca de 15 minutos/dia, o que correspondia a €1,55/dia; logo, ter-se-ia um custo anual de €408,00/ano.

Em suma, concluiu-se que o cenário menos dispendioso para operacionalizar seria o “alocar o material junto às máquinas”, por evidenciar ganhos em termos de tempo na reposição do material nos postos de trabalho.

Outro fator importante detetado durante a execução do estudo foi a atividade laboral dos colaboradores. Observou-se que alguns colaboradores realizavam de forma pouco correta os testes às operações de soldadura, uma vez que os executavam sobre o semicomponente já soldado, em vez de o fazerem somente ao par de elementos a juntar a esse semicomponente, de modo a reduzir o desperdício de material.

### 3.1.2 Método atualmente utilizado pela empresa

A empresa realiza os testes às operações de soldadura em duas fases:

- no início da produção, imediatamente a seguir à troca rápida de ferramentas (*setup*);
- ao longo da produção, dependendo da operação de soldadura realizada com uma determinada periodicidade.

Neste estudo, a análise do controlo estatístico foi realizada apenas na fase ao longo da produção, uma vez que, na fase do início da produção, são necessários estes testes até que sejam retirados elementos considerados estabilizados.

Assim, a empresa pretendia utilizar métodos estatísticos para acompanhar as variações de qualidade da tração da soldadura (força aplicada sobre um corpo numa direção perpendicular à superfície de corte até que aconteça a sua rutura), de forma a avaliar a estabilidade do processo, tendo por base uma dimensão amostral de 50 peças de todas as operações, recorrendo a um dinamómetro.

Todavia, as amostras a usar nos testes às operações de soldadura encontravam-se num contentor há vários dias, podendo alguns deles serem considerados sucata; assim esta metodologia de atuação é incorreta, uma vez que a amostra deveria ser analisada em tempo real. Desta forma, os resultados seriam influenciados e não era possível identificar as causas das variações contidas no processo.

O mesmo se aplicava à contabilização dos custos relativos ao controlo estatístico da qualidade inicial: realizar os testes às operações de soldadura com determinada frequência de elementos originava uma situação de falta de aleatoriedade. Por exemplo, o controlo visual no arranque é feito a 100%.

Devido às situações acima descritas, tornou-se necessário traçar uma metodologia que organize e permita uma recolha correta das amostras a analisar, de forma a construir

cartas de controlo que permitem analisar as variações do processo. O intuito desta metodologia foi minimizar o número de testes às operações de soldadura ao longo do processo, garantindo assim a qualidade da soldadura.

### 3.2 Identificação das causas do aparecimento de defeitos

Pretendeu-se realizar uma análise do aparecimento dos vários tipos de defeitos existentes, de modo a identificar e seleccionarem-se os problemas mais importantes. Esta análise efetuou-se de acordo com o fluxograma da Figura 25 e encontra-se descrita nos pontos que pormenorizam esta secção.

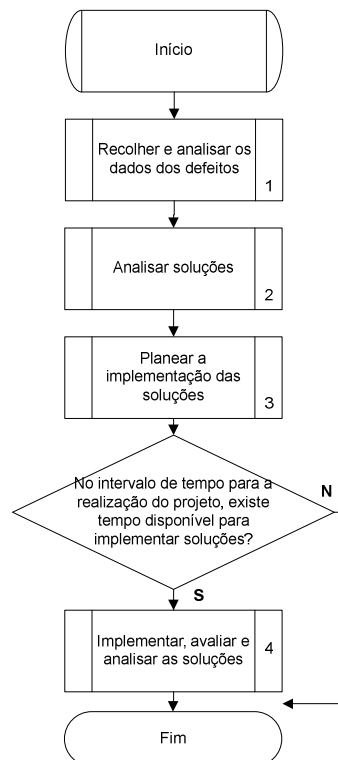


Figura 25 - Fluxograma da análise do aparecimento dos vários tipos de defeitos existentes <sup>1</sup>

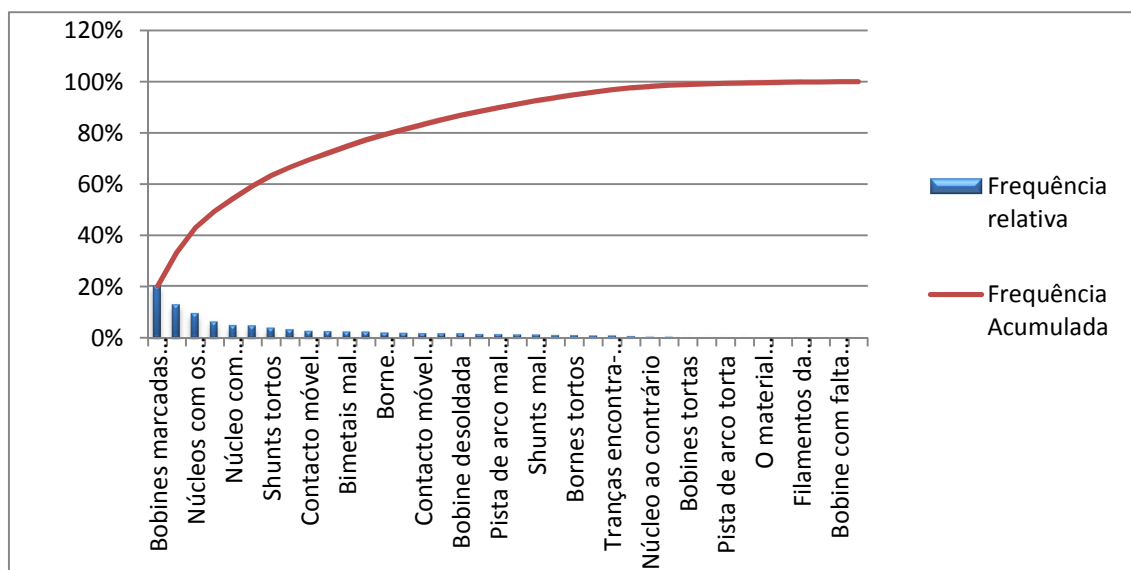
#### 3.2.1 Recolha e análise dos dados do problema

A 1ª fase de deteção de defeitos ocorreu junto de cada colaborador. Cada um tinha junto de si um contentor identificado por não conformes, no qual eram colocados materiais identificados como tal. Tratava-se de um autocontrolo visual, sendo que em determinados elementos são utilizados calibres e paquímetros para uma melhor medição ou quantificação do controlo.

No final de cada dia, eram recolhidos os elementos desses contentores e colocados num outro, o qual era inspecionado por um colaborador que registava todos os materiais não conformes, contabilizando os problemas decorrentes dos materiais do processo.

<sup>1</sup> Para mais informações sobre as subdivisões do fluxograma de análise dos defeitos, consultar Anexo C.

Para priorização desses problemas, utilizou-se o diagrama de Pareto na identificação dos defeitos mais significativos que influenciam o processo de soldadura (mais informações, consultar ANEXO D).



**Figura 26 - Diagrama de Pareto referente às causas dos defeitos**

Da análise efetuada à Figura 26, verificou-se que, ao atuar em 26% dos defeitos, conseguia-se resolver cerca de 72% dos problemas associados ao processo de soldadura. Nesses 26% de defeitos, encontravam-se: bobines não conformes (detetados nos testes), trança mal compactada, núcleos com fios partidos, bobines mal posicionadas, núcleos não conformes (detetados nos testes), corte das tranças incorretas (comprido ou curto demais nas zonas compactadas), *shunts* tortos, erros de distância entre elementos, contato móvel mal posicionado e, por último, empeno e comprimento incorreto dos bimetais. Para uma melhor perceção de cada um destes defeitos, ver o Anexo E.

Após a identificação e quantificação dos defeitos prioritários do processo de soldadura, procedeu-se à identificação das suas causas.

### 3.2.2 Identificação das causas

Recorreu-se ao diagrama de causa-efeito para a identificação das causas de cada um dos problemas identificados em 3.2.1. Os resultados obtidos encontram-se no ANEXO F.

A título informativo, apresentam-se na Figura 27 os resultados da análise causa-efeito do problema mais frequente – bobines não conformes.

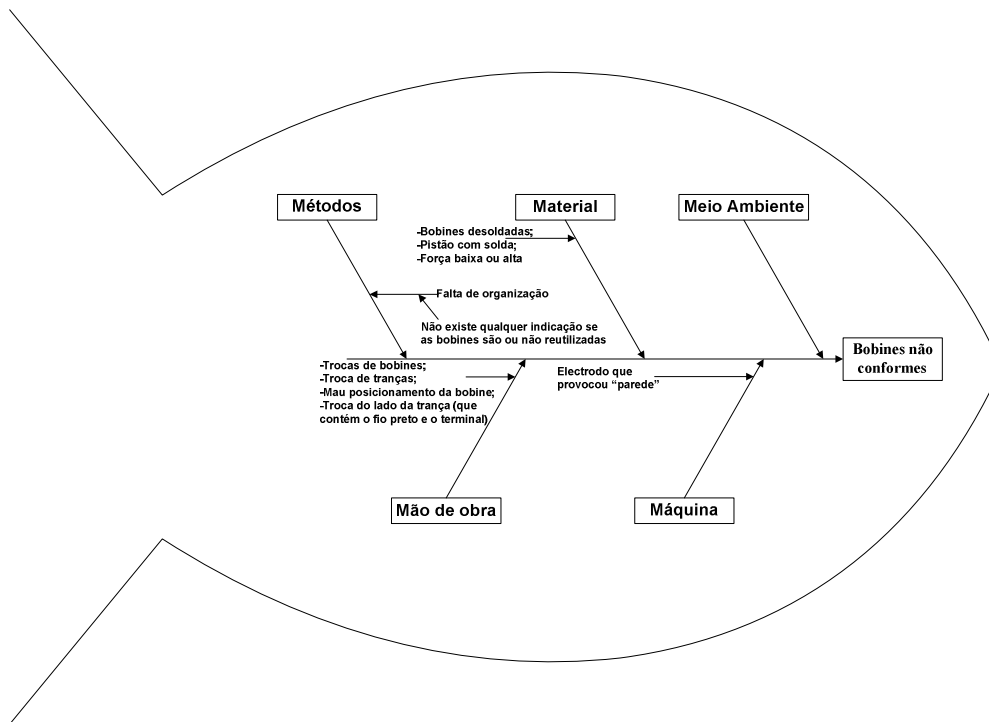


Figura 27 - Diagrama de causa - efeito: bobines não conformes (detetadas nos testes)

Para a análise causa-efeito das bobines não conformes, realizou-se um *brainstroming* entre colaboradores, de modo a enumerar as causas a listar na composição desta ferramenta.

Verificou-se que, através da causa Material, as causas poderiam ser bobines dessoldadas e pistão com solda ou/e força baixa ou alta de disparo. No Método, a falta de organização era a causa subjacente, visto que não existia qualquer referência que diferenciasses bobines novas das bobines reaproveitadas. Na causa Máquinas, os eléctrodos podiam provocar “parede” nas tranças (o eléctrodo não apanha toda a trança momento de contato). Por último, na Mão-de-obra, as causas estavam associadas a: trocas de bobines e de tranças, mau posicionamento da bobine no *jig* e troca de lado nas tranças (apenas quando a trança com o fio preto não estava do lado da bobine, ou se o terminal na trança não estava do lado do borne curto).

## 4. Soluções propostas

Neste capítulo, são sugeridas propostas de melhoria, de acordo com ineficiências identificadas.

O objetivo foi sugerir e implementar pequenas melhorias contínuas e reduzir o desperdício na soldadura.

Propôs-se uma nova abordagem para o controlo da qualidade das peças produzidas e diversas soluções para os defeitos.

### 4.1 Proposta metodológica para o controlo estatístico de qualidade

#### Controlo Estatístico efetuado em diferentes máquinas

No passado, não eram recolhidas amostras para a totalidade dos elementos. Mesmo as amostras dos elementos de que eram recolhidas amostras eram misturadas de diferentes máquinas.

Perante esta realidade, foram propostos os seguintes passos:

- a correta recolha de amostras (atendendo ao método e à dimensão);
- a definição dos parâmetros iniciais das cartas de controlo (médias e amplitudes).

- **A correta recolha de amostras (atendendo ao método e à dimensão)**

Para a correta recolha de amostras, foi preciso definir o método e a dimensão das mesmas.

No que respeita ao método, teve-se a necessidade de recolher as amostras segundo a amostragem “racional”, isto é, os elementos obtidos tinham de estar em condições idênticas e previamente estabilizados, sendo necessário a identificação de fatores que pudessem causar variações assinaláveis. Exemplos desses fatores seriam: os mesmos *jigs*, os mesmos elétrodos (quer seja inferior ou superior), a mesma afinação e a mesma máquina. Este método torna-se, assim, essencial para uma correta preparação das cartas de controlo. Por outro lado, identificar a função habitual de cada uma das máquinas, na área da soldadura (Tabela 9), foi outro passo a dar.

**Tabela 9 - Função das máquinas na área da soldadura**

Máquina	Função
1	Soldar borne curto
2	Soldar contato móvel
3	Soldar borne curto
4	Soldar <i>shunt</i> , pista de arco, placa
5	Soldar bobine
6	Soldar <i>shunt</i> , pista de arco e contato móvel
7	Soldar pista de arco
8	Soldar pista de arco, <i>shunt</i>
9	Soldar bimetálico a pista (máquina dedicada)
10	Soldar trança ao bimetálico (máquina dedicada)
11	Soldar borne comprido

Como pode verificar-se na Tabela 9, existem várias máquinas que têm mais do que uma função. Garantiu-se que as amostras retiradas para a realização das cartas de controlo eram originárias da mesma máquina, de modo a que os *jigs* e eléctrodos utilizados (descritos na Tabela 10) não influenciassem o estudo em questão.

**Tabela 10 - *Jigs* e eléctrodos da operação de soldadura**

<b>Elementos</b>	<b><i>Jigs</i></b>	<b>Eléctrodo inferior</b>	<b>Eléctrodo superior</b>
<b>Contacto móvel</b>	BX9400	BX982	BX990
<b>Pista de arco – fase</b>	BX9410	BX938	BX952
<b>Pista de arco – neutro</b>	BX9515	BX937	BX952
<b>Bimetal a trança</b>	BX9435	BX919	BX923
<b>Bimetal a pista de arco</b>	BX9440	BX912	BX921
<b><i>Shunt</i></b>	BX9485	BX933	BX913
<b>Bobine</b>	BX9525	BX918	BX915
<b>Borne comprido</b>	BX9450	BX935	BX917
<b>Borne curto</b>	BX9450	BX935	BX927

Outro aspeto a ter encontra foram os parâmetros de controlo das máquinas de soldadura ELCB que poderiam influenciar os resultados finais.

Quanto à dimensão da amostra, foi preciso atender às regras de sinalização de situações de descontrolo, sendo que a amostra em estudo era igual a 4 ( $n=4$ ).

Em função de toda a leitura anterior, utilizou-se a carta de controlo de variáveis. A carta de controlo possibilitou obter dados quantitativos contínuos, dos quais registaram-se os valores da força de tração (kg) dos testes às operações de soldadura. Recorreu-se então à carta ( $\bar{x}$ ;A), como exemplificam as figuras que se seguem no documento (da Figura 28 à Figura 34).

Posteriormente, procedeu-se à escolha do modelo sobre o qual se desenvolveria o estudo. Assim, a nova abordagem foi aplicada sobre o disjuntor ELCB (modelos 2P 15/45), por ser um dos mais produzidos e porque, aparentemente, traria mais vantagens para a organização, no caso de se garantir o controlo do seu processo. Em consequência, a construção de cartas de controlo para as diferentes operações de soldadura envolveu diferentes elementos eléctricos.

Na Tabela 11, registam-se os resultados calculados do Limite de Controlo Superior (LSC), Inferior (LCI) e a Linha Central (LC), para ambas as cartas: média e amplitude e o respetivo número de amostras.



**Tabela 11 - Limites calculados a partir das amostras para cada uma das cartas de controlo: média e amplitude**

Material testado	Carta	LCI	LC	LCS	Nº de amostras
<b>Borne curto (Neutro)</b>	<b>Média</b>	12,09	15,02	17,95	40
	<b>Amplitude</b>	0	4,02	9,17	
<b>Contacto móvel (Neutro)</b>	<b>Média</b>	18,10	31,04	43,98	33
	<b>Amplitude</b>	0	17,75	40,52	
<b>Pista de arco (Neutro)</b>	<b>Média</b>	22,24	32,05	41,87	39
	<b>Amplitude</b>	0	13,46	30,72	
<b>Bobine – trança preta (Magnético)</b>	<b>Média</b>	18,66	30,8	42,94	28
	<b>Amplitude</b>	0	16,65	38	
<b>Bobine – trança branca (Magnético)</b>	<b>Média</b>	23,06	33,6	44,15	28
	<b>Amplitude</b>	0	14,47	33,02	
<b>Borne curto – trança preta (Magnético)</b>	<b>Média</b>	9,77	13,6	17,42	35
	<b>Amplitude</b>	0	5,24	11,96	
<b>Borne curto – trança branca (Magnético)</b>	<b>Média</b>	11,12	14,65	18,18	35
	<b>Amplitude</b>	0	4,84	11,05	
<b>Bimetal (Térmico)</b>	<b>Média</b>	6,38	10,27	14,16	30
	<b>Amplitude</b>	0	5,34	12,17	
<b>Contacto móvel (Térmico)</b>	<b>Média</b>	13,13	23,75	32,37	17
	<b>Amplitude</b>	0	11,82	26,97	
<b>Shunt (Térmico)</b>	<b>Média</b>	23,81	30,2	36,59	26
	<b>Amplitude</b>	0	8,77	20	
<b>Pista de arco (Térmico)</b>	<b>Média</b>	19,6	28,72	37,83	28
	<b>Amplitude</b>	0	12,5	28,52	
<b>Borne comprido (Térmico)</b>	<b>Média</b>	5,81	11,18	16,47	40
	<b>Amplitude</b>	0	7,26	16,56	

Face aos resultados apresentados, verificou-se que o espectro entre os limites de controlo inferior e o limite de controlo superior era relativamente longo, o que, na realidade, implicava a aceitação de algumas amostras que provavelmente deveriam ser rejeitadas.

#### • Definição dos parâmetros iniciais das cartas de controlo

Apurados os limites de controlo, efetuou-se uma análise para se identificar se existiam causas assinaláveis no processo de soldadura, de modo a diminuir significativamente a sua variação total.

Verificou-se a ocorrência de várias situações, como se pode observar nas cartas de controlo das médias e das amplitudes obtidas abaixo. Assim, foi preciso comprovar as situações de descontrolo que surgiram, e se estas tinham causas assináveis, ou se resultavam de causas naturais.

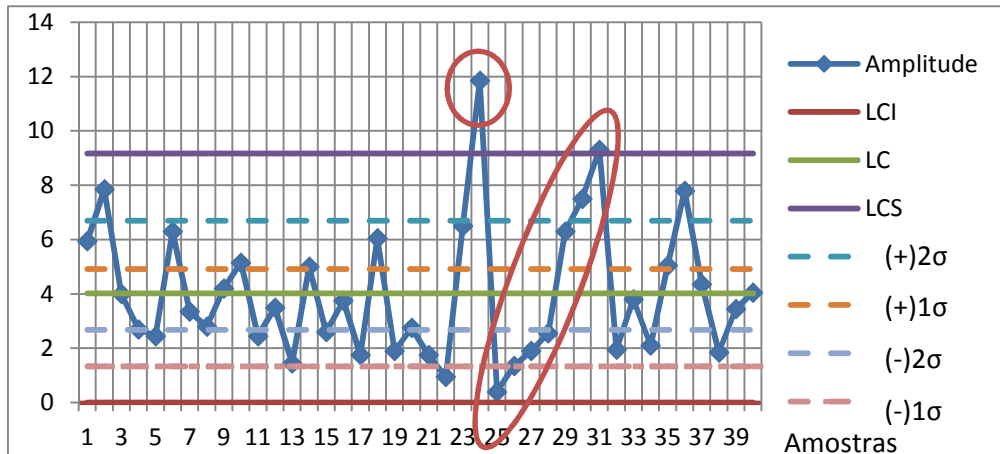
As amostras dos elementos que, nas respetivas cartas de controlo, apresentaram maior número de regras para a sinalização de situações de descontrolo foram:

- Borne curto (neutro);
- Pista de arco (neutro);
- Contato móvel (neutro);
- Borne curto – trança preta (magnético);
- Bimetal (térmico).

No caso dos dois primeiros elementos (borne curto – neutro e pista de arco – neutro), foram executadas as duas cartas de controlo (amplitudes e médias) e nos restantes foram somente utilizadas as cartas de controlo das médias.

De seguida, para uma melhor compreensão do leitor, apresentam-se as análises realizadas a cada um dos elementos elétricos, envolvidos no processo de soldadura:

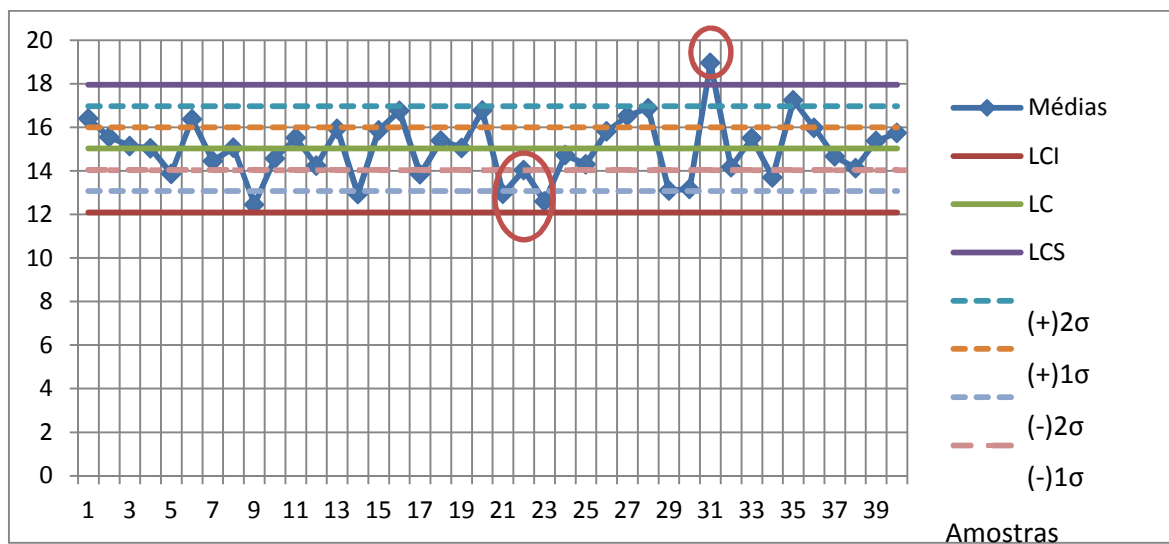
- Borne curto (neutro):



**Figura 28 - Carta de controlo das amplitudes, associada ao borne curto (neutro)**

Pela análise da Figura 28, observou-se que os pontos 24 e 31 saíam fora do limite superior de controlo (o que fez com que aumentasse em muito a variabilidade deste processo); a situação detetada deveu-se a qualidade do material. Dos pontos 25 ao 31, observaram-se padrões de evolução anormais, mais concretamente uma tendência ascendente não linear, resultante do estado do material das tranças.

Quanto à carta de controlo das médias obtida para este componente, o seu comportamento é demonstrado na Figura 29.

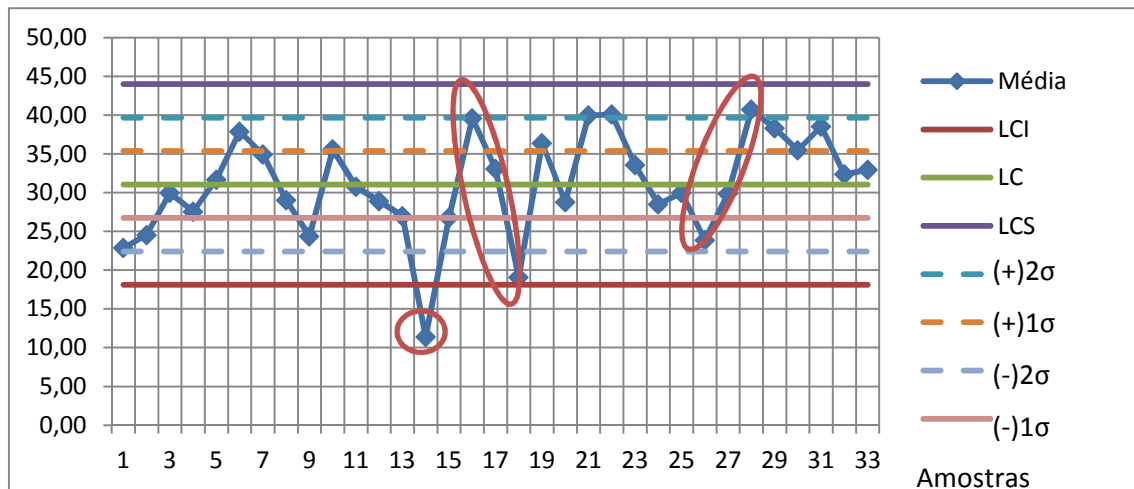


**Figura 29 - Carta de controlo das médias - borne curto (neutro)**

O ponto 31 da Figura 29 era um ponto fora dos limites de controlo, resultante das avarias de refrigeração das máquinas. Relativamente aos pontos 21, 22 e 23, foi possível constatar que ocorria uma sequência anormal de dois pontos entre três sucessivos abaixo

da linha  $-2\sigma$ . Contudo, através da observação dos dados, não se identificou uma causa assinalável, sendo considerado um falso alarme.

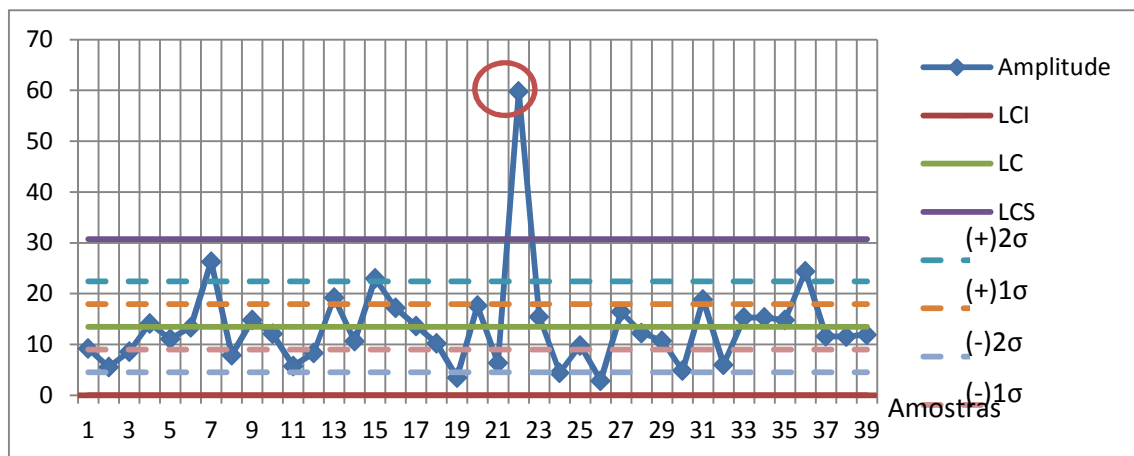
- Contato móvel (neutro)



**Figura 30 - Cartas de controlo das médias - contacto móvel (neutro)**

Através da carta de controlo apresentada Figura 30, foi possível detetar que existia um ponto fora dos limites, abaixo do limite inferior de controlo (ponto 14); tal deveu-se ao material utilizado poder conter pó e/ou gordura. Nos pontos 16, 17 e 18, verificaram-se padrões anormais de evolução (grandes oscilações – de entre três pontos sucessivos existe um entre o limite superior de controlo e a linha  $+2\sigma$  e outro entre o limite inferior de controlo e a linha  $-2\sigma$ ); esta situação ocorreu devido ao material conter alguma gordura e/ou pó e à troca de elétrodos durante o processo. Na troca de elétrodos, teve-se ainda em atenção se seriam usados para o fabrico de outros modelos ou se eram novos (poderiam apresentar algum desgaste relativamente ao fator tempo alocado ao processo). Dos pontos 26 ao 28, a situação foi semelhante, mas pela ordem inversa; os problemas identificados foram o ligeiro aumento de temperatura e a troca de turno durante o desenvolver da atividade da solda.

- Pista de arco (neutro)



**Figura 31 - Carta de controlo das amplitudes - pista de arco (neutro)**

Nesta carta de controlo das amplitudes Figura 31, foi possível constatar que existia um ponto (22) fora dos limites de controlo, devido ao método não ser bem definido, isto é, o

molde (base do dinamómetro) que suportava a pista de arco tinha de ser melhorado, de modo a diminuir os movimentos do aparelho e assim permitir melhores medições.

Quanto à carta de controlo das médias deste elemento (Figura 32), verificou-se que os pontos 8, 20, 24, 34 e 37 encontravam-se fora dos limites de controlo. Os pontos 20 e 34 estavam acima do limite de controlo superior, graças ao molde da pista de arco possibilitar movimentos não desejáveis. Os pontos 8, 24 e 37 estavam também fora dos limites de controlo, abaixo do limite inferior, devido ao material conter pó e/ou gordura. Os pontos 22, 23 e 24 apresentavam padrões anormais de evolução, com grandes oscilações geradas pelo facto do método não estar bem definido.

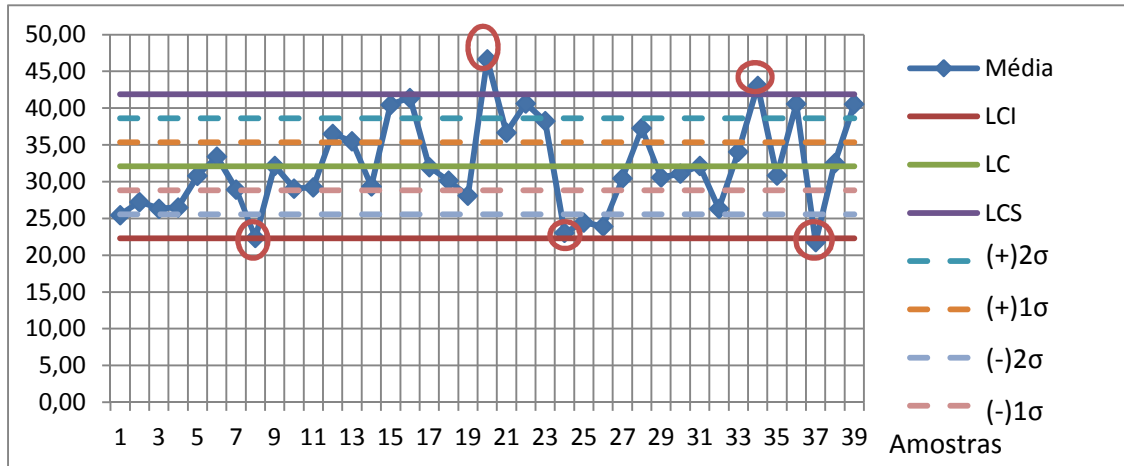


Figura 32 - Carta de controlo das médias - pista de arco (neutro)

- Borne curto – trança preta

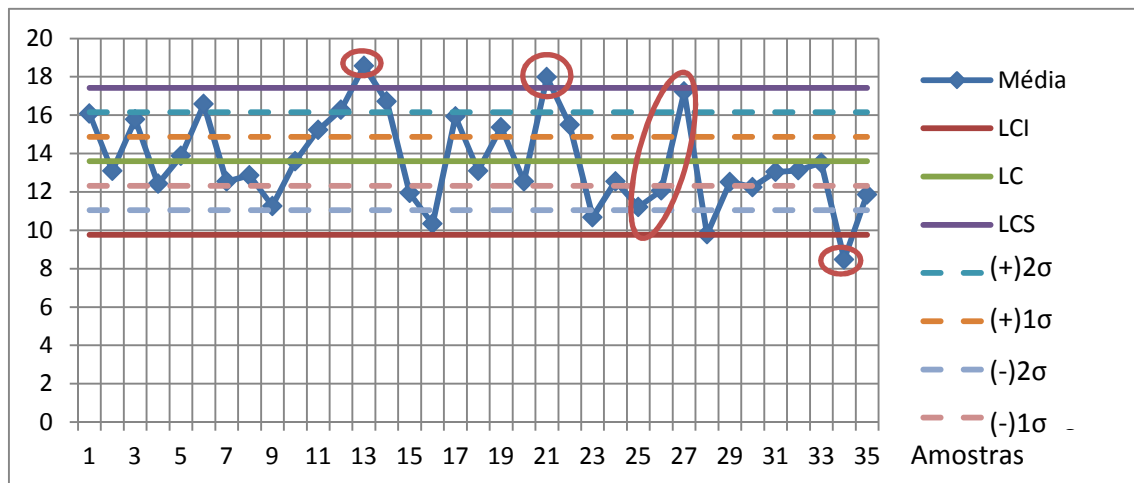


Figura 33 - Carta de controlo das médias: borne curto – trança preta

Através da visualização da Figura 33, aferiu-se que os pontos 13, 21 e 27 estavam fora dos limites de controlo, resultado da qualidade do material. Outro ponto – o 34 – apresentava o mesmo comportamento, resultado do desgaste dos eléctrodos pelo tempo e utilização em diversos modelos de disjuntores. Com base nos padrões anormais de evolução, verificaram-se grandes oscilações desde o ponto 25 ao ponto 27, na sequência do problema de refrigeração das máquinas.

## - Bimetal

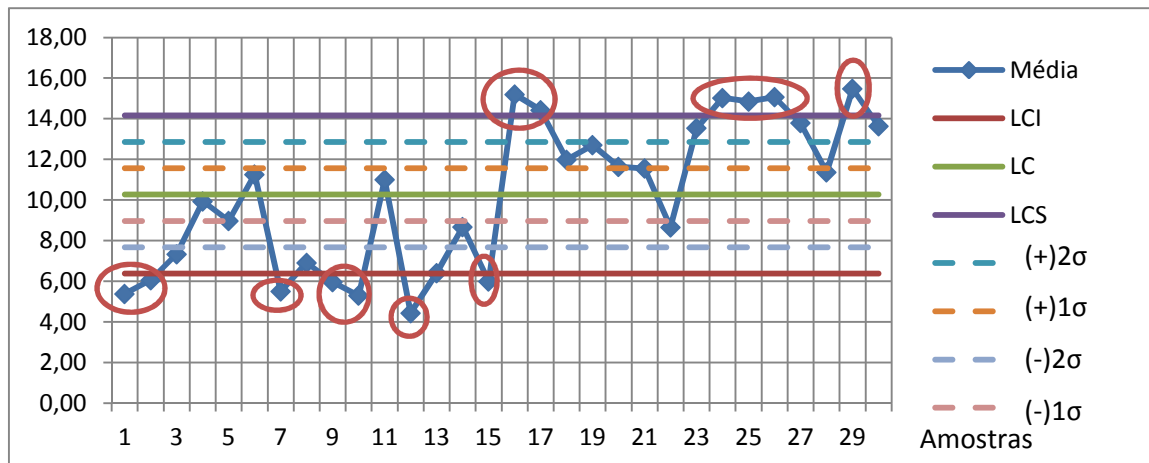


Figura 34 - Carta de controlo das médias: bimetal

Da Figura 34, constatarem-se vários pontos fora de controlo: 1, 2, 7, 9, 10, 12, 15, 16, 17, 24, 25, 26 e 29. Nos pontos 1, 2, 7, 9 e 10, a razão do descontrolo foi o material poder estar contaminado com pó e/ou gordura. Quanto aos pontos 12 e 15, a causa associada era a pouca fita de solda no componente. Os pontos 16 e 17 estavam fora dos limites de controlo, resultado das avarias de refrigeração das máquinas. Nos pontos 24, 25 e 26, a alteração dos elétrodos foi a principal causa, enquanto que no ponto 29 a qualidade do material explicou o resultado obtido.

Assim, foi realizada a análise das cartas de controlo aplicada no processo de soldadura. Contudo, as análises exaustivas de controlo (amplitudes e das médias) dos restantes elementos intervenientes no processo estão descritas no ANEXO G.

Na Tabela 12, resume-se todo o estudo realizado para cada um dos elementos, em termos de cartas de controlo, respetivas situações de descontrolo<sup>2</sup> e causas associadas.

Tabela 12 – Resumo da análise efetuada às restantes das cartas de controlo obtidas do processo

Componentes	Cartas	Situação de descontrolo	Causas	Causas gerais
Borne curto (neutro)	Amplitude	1 3a	Concretamente devido ao estado do material	Material
	Média	1	Refrigeração da máquina	Falta de manutenção preventiva
		2c	Falso alarme	-
Contato móvel (neutro)	Amplitude	Estabilizado	-	-
	Média	1, 3b	Material contém pó e/ou gordura	Material
		3b	Troca de elétrodos Aumento ligeiro da temperatura	Elétrodo Temperatura

(Continuação na página seguinte)

<sup>2</sup> Situações de descontrolo - são identificadas com números e letras, de acordo com a Tabela 5.

Componentes	Cartas	Situação de descontrolo	Causas	Causas gerais
<b>Pista de arco (neutro)</b>	Amplitude	1	Método não está bem definido, pois permite movimentos	Método
	Média	1	Método não está bem definido Material contém pó e/ou gordura	Método Material
<b>Bobine – trança branca (magnético)</b>	Amplitude	3d	Material contém pó e/ou gordura	Material
	Média	Estabilizado	-	-
<b>Bobine – trança preta (magnético)</b>	Amplitude	3d	Material contém pó e/ou gordura	Material
		3b	Material contém pó e/ou gordura Qualidade do material	Material
	Média	3d	Material contém pó e/ou gordura	Material
<b>Borne curto – trança preta (magnético)</b>	Amplitude	Estabilizado	-	-
	Média	1	Qualidade do material Desgaste dos elétrodos	Material Elétrodos
		3b	Refrigeração da máquina	Falta de manutenção preventiva
<b>Borne curto – trança branca (magnético)</b>	Média	1	Material contém pó e/ou gordura	Material
	Amplitude	3b	Material contém pó e/ou gordura Aumento ligeiro da temperatura	Material Temperatura
<b>Borne curto – trança branca (magnético)</b>	Média	1	Material contém pó e/ou gordura	Material
	Amplitude	3b	Material contém pó e/ou gordura Aumento ligeiro da temperatura	Material Temperatura
<b>Bimetal (térmico)</b>	Amplitude	1	Qualidade do material	Material
		2b	Falso alarme	-
	Média	1	Pouca fita de solda Qualidade do material Refrigeração das máquinas Alteração dos elétrodos	Colaboradora Material Falta de manutenção preventiva Elétrodos
<b>Contato móvel (térmico)</b>	Amplitude	1	Pouca fita de solda	Colaboradora
	Média	1	Desgaste dos elétrodos Diminuição da temperatura Qualidade do material	Elétrodos Temperatura Material
<b>Shunt (térmico)</b>	Amplitude	Estabilizado	-	-
	Média	1	Qualidade do material Pouca fita de solda	Material Colaboradora

Como observação final, as causas específicas das situações de descontrolo estavam relacionadas com: os eléctrodos, a temperatura, o próprio material, a falta de manutenção, os colaboradores e os métodos não estarem bem definidos no molde de fixação da pista de arco, pois permitia movimentos não desejáveis à laboração da atividade.

Com o conhecimento obtido, procedeu-se à eliminação das causas e à adoção de medidas para evitar a sua reincidência. Para auxiliar nesta tarefa, recorreu-se à aplicação da técnica – FMEA (descrita no ANEXO H). Esta técnica, segundo *Palady* (1997), é de baixo risco e a mais eficiente na prevenção de problemas e na identificação das soluções mais eficazes, em termos de custos.

Em função das causas, propuseram-se as seguintes soluções (Tabela 13):

**Tabela 13 - Causas especiais detetadas no modelo 2P15/45 e a suas soluções**

Causas especiais	Soluções
Desgastes dos eléctrodos	Sistema <i>sentinel</i>
Temperatura	Desenho experimental
Material	Redefinição dos métodos de controlo na receção
Falta de manutenção	Definição de manutenções preventivas às máquinas de soldadura
Colaboradoras	Automação da dispensa da fita
Método definido	Estudo de um novo molde para a pista de arco

De salientar que todas as soluções propostas foram consideradas válidas. Todavia, mereceu especial relevo o sistema *sentinel*, que é um interface entre a conformidade do *Quality Management System* (QMS) e a do equipamento. Trata-se dum sistema de aviso luminoso colocado em cada máquina de soldadura, que pode operar de duas formas: contínua e intermitente e com três cores (verde, amarelo e vermelho). A sua utilização permitirá que a resolução do problema ocorra de acordo com uma das situações descritas na Tabela 14.

**Tabela 14 - Legenda do sistema *sentinel*<sup>3</sup>**

Formas de operar Cores	Contínuo	Intermitente
<b>Vermelho</b>	Máquina não funciona: não foi trocado o eléctrodo, ou a manutenção da máquina não foi realizada	Máquina desliga-se automaticamente: a entrada do QMS não foi realizada, ou o parâmetro está fora de controlo
<b>Amarelo</b>	Hora da intervenção da manutenção preventiva (caso esta não ocorra, passa a vermelho contínuo)	Hora de inserir os dados no QMS (caso expire o prazo definido, a luz fica vermelho intermitente)
<b>Verde</b>	Máquina está em execução	Máquina operacional, mas não a produzir

<sup>3</sup> Terá que haver um estudo sobre o período médio de funcionamento para cada tipo de eléctrodo. No sistema *sentinel*, a máquina deixará de funcionar quando for definido esse período e não conseguirá aferir do desgaste provocado no eléctrodo.

Após definidas as orientações para a resolução dos problemas identificados nas cartas de controlo (Tabela 13), apresentam-se, seguidamente, os parâmetros ideais das cartas de controlo no estudo do modelo 2P 15/45:

**Tabela 15 - Limites calculados a partir das amostras estabilizadas para cada uma das cartas de controlo: média e amplitude**

Material testado	Carta	LCI	LC	LCS	Nº de amostra
Borne curto (Neutro)	Média	12,32	15,09	17,86	29
	Amplitude	0	3,81	8,68	
Contacto móvel (Neutro)	Média	18,54	31,76	44,99	29
	Amplitude	0	4,02	9,17	
Pista de arco (Neutro)	Média	22,28	32,09	41,9	33
	Amplitude	0	13,46	30,72	
Bobine – trança preta (Magnético)	Média	19,21	30,21	41,20	16
	Amplitude	0	15,08	34,42	
Bobine – trança branca (Magnético)	Média	22,83	33,46	44,09	21
	Amplitude	0	14,58	33,28	
Borne curto – trança preta (Magnético)	Média	9,66	13,46	17,25	29
	Amplitude	0	5,21	11,88	
Borne curto – trança branca (Magnético)	Média	12,22	15,18	18,14	27
	Amplitude	0	4,06	9,25	
Bimetal (Térmico)	Média	6,84	10,95	15,06	14
	Amplitude	0	5,64	12,87	
Contacto móvel (Térmico)	Média	15,87	24,20	32,53	13
	Amplitude	0	11,43	26,08	
Shunt (Térmico)	Média	23,59	29,82	36,04	23
	Amplitude	0	8,54	19,49	
Pista de arco (Térmico)	Média	19,25	27,29	35,32	22
	Amplitude	0	11,3	25,16	
Borne comprido (Térmico)	Média	5,56	10,64	15,72	36
	Amplitude	0	6,97	15,90	

Através da análise das Tabelas 11 e 15, observou-se que a maioria dos limites de controlo possuía agora um intervalo mais curto, em comparação com esses mesmos limites antes da referida análise - implicava a rejeição de algumas amostras que antes eram aceites.

Assim, após obter-se a identificação e eliminação das causas assinaláveis, avançou-se para outro ponto importante das cartas de controlo: a capacidade do processo. Para determinar esta capacidade, era necessário satisfazer as especificações ou requisitos dos clientes, de modo a conduzir a um processo de níveis de qualidade desejáveis.

No caso da empresa, esta capacidade não foi possível calcular, uma vez que não tinham sido previamente definidos os limites de especificação do cliente.

Caso houvesse esses limites, ter-se-ia de aplicar o procedimento descrito nas cartas de controlo do ponto 2.2.2 deste documento e dever-se-ia visualizar graficamente se os limites de controlo eram superiores aos limites de especificação. Se isto acontecesse, a empresa estaria a aceitar incorretamente o material, pois os valores aceites pelo cliente seriam inferiores aos obtidos no processo e vice-versa.



## 4.2 Melhorias para minimização de defeitos

Estas soluções de melhoria são relativas aos problemas apresentados no ponto 3.2. do atual documento.

### 4.2.1 Alternativas de solução

Deste modo, as soluções propostas na Tabela 16 visam resolver os problemas prioritários associados ao aparecimento de defeitos.

**Tabela 16 - Problemas e alternativas de soluções**

Problemas identificados	Alternativas de solução
<b>Bobines não conformes (detetados problemas nos testes)</b>	Identificar as bobines que são para reutilizar; Criar medidas para evitar a troca de bobines na soldadura; Melhoria do <i>jig</i> de soldadura da trança à bobine.
<b>Bobines mal posicionadas</b>	Desenvolvimento de <i>jigs</i> de soldadura da trança à bobine, para evitar movimentos das peças (que originam diminuição da dependência da responsabilidade do trabalho das colaboradoras); Redução dos movimentos, o que implica o estudo de tempos e de movimentos; Estudo da compactação mais alta e mais estreita, para facilitar a entrada do conjunto no módulo.
<b>Tranças mal compactadas</b>	Substituição do cilindro posterior de compactação.
<b>Corte das tranças incorretas (compridas ou curtas demais nas zonas compactadas)</b>	Criação de <i>poka-yoke</i> (mecanismo) na máquina, que evite o torcer das tranças.
<b>Núcleos com fios partidos</b>	Melhoria do processo de enrolamento dos núcleos AC; Melhoria do processo de armazenagem, abastecimento e manuseamento dos núcleos S entre soldadura/produção; Estudo da separação de camadas por meios de cartões ondulados, na passagem do processo dos magnéticos para o subcontrato; Possibilidade do uso de “blisters,” como é o caso do núcleo S.
<b>Núcleos não conformes (detetados nos testes)</b>	Situação associada ao problema anterior; a sua resolução passa pelas soluções anteriores.
<b><i>Shunts</i> tortos; empeno e comprimento incorreto dos bimetais</b>	Melhoria nos cunhos dos <i>shunts</i> e bimetais; Inspeção de <i>shunts</i> e bimetais a 100%.
<b>Distâncias entre conjuntos</b>	Melhoria no <i>jig</i> , com inclusão de esfera inamovível Reabertura do plano de ações, no que respeita à pista de arco; Inclusão de medidas de comprimento elétrico, por meio de câmara visual artificial, para evitar erros de leitura.
<b>Contacto móvel mal posicionado</b>	Desenvolvimento de <i>jigs</i> de soldadura da trança ao contato móvel, para evitar movimentos das peças.

Seguidamente, priorizaram-se as soluções apresentadas para hierarquização das ações de melhoria.

#### 4.2.2 Priorizar soluções

Nesta fase, apesar de existirem diversas soluções delineadas, tornou-se essencial atribuir um grau de prioridade para cada uma, de forma a se fazer uma seleção das que devem ser implementadas de imediato e que trarão mais impacto, em termos de resultados finais. Para tal, recorreu-se à matriz R.A.B.<sup>4</sup> para executar essa seleção (Tabela 17).

**Tabela 17 - Classificação dos elementos da Matriz R.A.B.**

	Rap. (R)	Aut. (A)	Ben. (B)	R x A x B	Grau de prioridade
<b>Bobines não conformes (detetadas nos testes)</b>	5	5	5	125	1º
<b>Bobines mal posicionadas</b>	5	5	3	75	2º
<b>Tranças mal compactadas</b>	5	5	3	75	2º
<b>Corte das tranças incorretas (comprida ou curta demais nas zonas compactadas)</b>	5	5	3	75	2º
<b>Núcleos com fios partidos</b>	3	3	5	45	3º
<b>Núcleos não conformes (detetados nos testes)</b>	3	3	5	45	3º
<b><i>Shunts</i> tortos</b>	3	3	3	27	4º
<b>Empeno e comprimento incorreto do bimetálico</b>	3	3	3	27	4º
<b>Contato móvel mal posicionado</b>	5	5	3	75	2º
<b>Distância entre elementos</b>	3	5	5	75	2º

Observou-se que as soluções prioritárias eram:

- 1º - as bobines marcadas nos testes como não conformes;
- 2º - as bobines mal posicionadas, as tranças mal compactadas, o corte das tranças incorreto, o contato móvel mal posicionado e a distância entre elementos;
- 3º - os núcleos com fios partidos e os núcleos testados não conformes (estes elementos estavam relacionados entre si);
- 4º - o empeno, o comprimento incorreto do bimetálico e os *shunts* tortos.

#### 4.2.3 Desenvolver soluções

O passo seguinte foi desenvolver as soluções que, na matriz de R.A.B., obtiveram os graus de prioridade mais elevados.

Para tal, utilizou-se a ferramenta 5W1H (descrita no Anexo I), para assegurar a implementação das soluções, de forma fácil e organizada.

A construção dessa ferramenta baseou-se numa tabela, em que cada linha representa um problema e as respetivas colunas as seguintes perguntas:

O que vai ser feito?, Porque foi destinada esta solução?, Quando vai ser feito?, Onde será implementada?, Quem será o responsável? e Como vai ser implementada?.

<sup>4</sup> A construção desta matriz foi realizada com o auxílio do engenheiro Rui Coelho.

Porém, o planeamento da implementação das soluções passou pela definição das metas e dos métodos explícitos nas questões quando e como do plano de ações 5W1H, respetivamente (consultar ANEXO I).

#### 4.2.4 Implementar, avaliar e analisar soluções

De forma a avaliar e analisar qualquer solução, foi necessário disseminar a informação, educar as pessoas e executar no *gemba* (terreno) todo o processo de implementação.

Sendo assim, as propostas implementadas foram:

- **Proposta para evitar a troca de bobines nas soldaduras**

Objetivo a atingir: O colaborador não troque as bobines nas tranças.

Como abordar o problema: Na proposta de solução relativa ao objetivo, foram equacionados duas possíveis soluções:

Primeira proposta de solução:

Pretende-se manter o sistema de trabalho atual, mas com pequenas modificações ou aperfeiçoamentos. Inclui a substituição dos contentores das bobines com a mesma cor (Figura 35) por contentores da mesma cor que as tranças, para que o colaborador, através da gestão visual, consiga identificar o modelo de bobine a ser utilizado em determinada trança a ser soldada.



**Figura 35 - Contentores de bobines utilizados na produção**

Segunda proposta de solução:

Da segunda proposta, consta a implementação de um sistema de controlo da qualidade de bobines utilizadas nas tranças. Por exemplo: num modelo 4P, constituído por três bobines iguais para três tranças de cor diferente e uma bobine diferente para a restante cor, o sistema de controlo ao detetar a mão do colaborador mais do que três vezes num dos componentes, ativa o sensor luminoso ou sonoro, de modo a prender a atenção do colaborador. A estrutura do sistema é em alumínio, coberto com policarbonato, no qual se encontram incorporados sensores de presença que conferem a automação do sistema, revertendo a um investimento global de 475€.

Considerando as propostas de solução anteriores, reorganizou-se e identificou-se visualmente a estante de armazenagem dos elementos, para facilitar a identificação e o manuseamento dos materiais para a linha de soldadura. O estado inicial da área de armazenagem é visível na Figura 36.



**Figura 36 - Supermercado das tranças e dos restantes elementos antes da intervenção**

Como se constatou, a organização do material na estante não era a mais adequada, nem existia uma gestão visual que ajudasse os colaboradores a identificarem o material. De notar que a estante das tranças (lado esquerdo da Figura 37) estava em pior estado, pois continha variedades de tranças que não estavam organizadas pelos seus respetivos componentes, o que originava, junto do colaborador menos atento, a possibilidade de trocar e/ou perder tempo a encontrar o material.

No final desta intervenção (Figura 37), verificou-se melhoria visual na identificação do material.



**Figura 37 - Supermercado das tranças e dos restantes elementos após a intervenção**

- **Verificação dos métodos de reaproveitamento dos componentes térmicos**

Objetivo a atingir: Verificar quantidades de componentes térmicos que seriam recuperados para a produção e que voltariam a ser rejeitados.

Como abordar o problema: Realizar um estudo

Para os modelos 4P 30/60, 4P10/30, 2P 15/45 e o 2P 30/60, no caso do componente térmico.

Na tabela 18, identificou-se a quantidade dos modelos que foram medidos com um paquímetro e que estavam dentro dos limites definidos pela empresa, mas cujo destino era a sucata; estes modelos foram reenviados para a produção, de modo averiguar quantos seriam rejeitados.

**Tabela 18 - Ensaio para verificar a quantidade de rejeição de térmicos**

Modelos	Enviados para a produção (aparelhos com térmicos)	Rejeitados na produção (aparelhos com térmicos)	Percentagem de aparelhos aceite
4P 30/60	39	4	90%
4P 10/30	5	3	40%
2P 15/45	40	0	100%
2P30/60	8	2	75%

Olhando à Tabela anterior, os resultados da análise de rejeição na produção evidenciaram que o modelo mais relevante foi o modelo 2P15/45, pois era reaproveitado a 100%, ao nível dos componentes térmicos. Nos restantes modelos: 4P 30/60, 2P30/60 e 4P10/30), e apesar das quantidades utilizadas serem mais reduzidas, o nível de reaproveitamento foi de 90%, 75% e 40%, respetivamente.

- **Verificação dos métodos de reaproveitamento das bobines**

Objetivo a atingir: Verificar quantidades de bobines que seriam recuperadas para a produção e que voltavam a ser rejeitadas.

Como abordar o problema: Verificar

Se as bobines estavam dentro dos intervalos pré-definidos pela empresa. No caso desta situação se confirmar, deve-se proceder à limpeza e à marcação das bobines; posteriormente, estas devem ser reenviadas para a produção, de maneira a comprovar-se ou não se ocorre rejeição da bobine. Este estudo pode verificar-se na Tabela 19.

**Tabela 19 - Ensaio para verificar a quantidade de rejeição de bobines**

Modelos	Enviados para a produção (aparelhos com bobines)	Rejeitados na produção (aparelhos com bobines)	Percentagem de aparelhos aceite
4P 30/60	22	3	86%
4P 10/30	50	6	88%
2P 15/45	60	6	90%
2P30/60S	20	1	95%

Através da Tabela 19, verificou-se que a percentagem de reaproveitamento das bobines foi superior a 85%, o que significava maior quantidade de sucata, em vez de poder aproveitar e utilizar na produção.

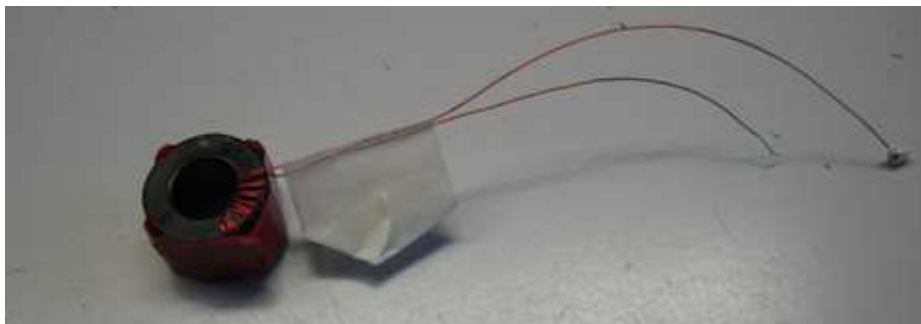
- **Uso de *blisters* no caso do núcleo AC**

Objetivo a atingir: Diminuir, ou até mesmo eliminar, a quebra dos núcleos AC desde o fornecedor até ao processo de montagem

Como abordar o problema: Equacionada a proposta de solução em duas partes.

Primeira parte da solução:

Para prevenir que os núcleos não se quebrassem entre o fornecedor e o processo de montagem, utilizou-se uma fita adesiva de papel de fácil remoção (colocada no fornecedor) para proteger o elemento elétrico, a qual seria posteriormente retirada na montagem, de modo a não deixar resíduos e a não aumentar o tempo de operação e o custo final do próprio elemento (Figura 38).



**Figura 38 – Núcleo com fita adesiva**

Segunda parte da solução:

Esta proposta consistia em acondicionar os núcleos AC. Para isso, teve-se em atenção os dois fios que se estendem para além do núcleo e o diâmetro do próprio.

Esta solução passa por ter uma dimensão longitudinal de quatro filas de núcleo para permitir que a fila ímpar esteja num sentido e a fila par no sentido oposto, a fim de garantir que seja retirado apenas um núcleo de cada vez. Desta forma, os fios dos núcleos não se entrecruzam, pois, se tal acontecesse, poderiam originar entrelaçamento e a sua quebra. Neste ponto, houve ainda que assegurar a existência de rasgos entre as filas de núcleos, de modo a colocar nestes os respetivos fios (ver Figura 39).

Finalmente, o protótipo necessitou, então, de ser padronizado, dado que as filas de núcleos seriam colocadas no fornecedor e utilizadas pelos colaboradores no desenvolvimento da sua atividade.



**Figura 39 - Protótipo para os blisters do núcleo AC**



## 5. Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

Perante a competitividade do mercado, a qualidade é uma preocupação constante da *GE Power Controls Portugal* para que os seus produtos sejam reconhecidos no mercado. De acordo com *Kaoru Ishikawa*, “a qualidade não acontece, constrói-se; é de responsabilidade de todos e não acontece sozinha, é uma frente de trabalho”.

Neste sentido, o projeto realizado na *General Electric Power Controls* dividiu-se em duas partes distintas: o controlo estatístico de qualidade e a identificação das causas na ocorrência de defeitos.

No que diz respeito ao controlo estatístico de qualidade inicial utilizado pela empresa, foi possível verificar, identificar e contabilizar os custos de três cenários que ocorriam, ocorreram, ou poderiam ocorrer no processo de soldadura, relativamente aos defeitos planeados. No cenário futuro “Alocar o material junto às máquinas”, designado como a proposta de solução para minimização dos custos relativos aos defeitos, verificou-se uma poupança de €4023/ano face aos restantes cenários.

Perante os resultados desta pré-análise, concluiu-se que a metodologia utilizada pela empresa era incorreta e não trazia qualquer vantagem, em termos de controlo de qualidade do processo. Assim, com a utilização da amostragem racional e das cartas de controlo, desenvolveu-se uma metodologia que permitiu identificar, em tempo real, os fatores que colocavam em situação de descontrolo o processo de soldadura, de modo a que os limites de controlo passassem a um intervalo mais restrito. Esta melhoria, orientada por ações como o sistema *sentinel*, originou uma rejeição de peças na produção que, até ao momento, eram aceites; tal garante que não existirá o risco de devolução do produto, no final do processo, nem a necessidade de retrabalho.

Na segunda parte do trabalho, através do diagrama de Pareto, constatou-se que ao reduzir 26% dos defeitos, solucionava-se 72% dos problemas. Após identificação das causas associadas a esses defeitos pelo diagrama de causa-efeito, tentou-se minimizar as suas ocorrências, implementando:

- um sistema à prova de erro no posto de trabalho, que preveniu a troca entre bobines; à melhoria da gestão visual na organização e arrumação do supermercado dos elementos elétricos, que facilitou o trabalho de todos os colaboradores;
- *blisters*, no caso dos núcleos AC, que evitaram as quebras dos próprios, ou mesmo a perda total do componente produzido;
- a verificação dos métodos de reaproveitamento das bobines e componentes térmicos, cujas percentagens de peças reaproveitadas para produção em cada um dos casos foram superiores a 85% e 39%, respetivamente.

Como perspectiva de trabalho futuro, será interessante atuar nas restantes ações propostas: aplicar a metodologia desenvolvida aos restantes modelos de disjuntores e aumentar a dimensão de amostras recolhidas do modelo que foi aplicado neste projeto (2P 15/45) para obtenção de resultados mais fiáveis, que melhor possam ajudar a garantir a qualidade dos componentes produzidos na área da soldadura e aplicar o desenho de experiências para a fixação de variáveis do processo.

## Referências

Barbará, Saulo (2006), “Gestão por processos: fundamentos, técnica e modelos de implementação. Foco no sistema da qualidade com base na ISSO 9000:2000”, Rio de Janeiro: Qualitymark

Bicheno, John; Holweg, Matthias (2009), “*The Lean Toolbox – The Essential Guide to Lean Transformation*”, 4ª Edição, Buckingham: PICSIE Books, ISBN 978-0-9541244-5-8

Branco, Rui Fazenda (2008), “O Movimento da Qualidade em Portugal”, Porto: Edições Vida Económica, ISBN: 978-972-788-261-8

Brassard, Michael (1996), “Qualidade: ferramentas para uma melhoria”, R Rio de Janeiro: Qualitymark

Cabral, J.A.Sarsfield (2004), “Introdução às Cartas de Controlo *Shewhart*”, Notas de Apoio à disciplina de Gestão da Qualidade, FEUP

César, Francisco I. Giocondo (2011), “Ferramentas Básicas de Qualidade – Instrumentos para o gerenciamento do processo e melhoria contínua”, 1ª Edição, São Paulo: Biblioteca 24 horas, *Seven System Internacional Ltda*, ISBN: 978-85-7893-889-5

Conger, Sue (2011), “*Process Mapping and Management*”, 1ª Edição, Nova Iorque: *Business Express Press, LLC*, ISBN 978-1-60649-129-4

Dias, Kadu (2006), “Mundo das Marcas: *General Electric*”, último consulta: fevereiro 2012, <http://mundodasmarcas.blogspot.com/2006/06/general-electric-imagitanion-at-work.html> adapt

Gama, Pedro (2001), “Ferramentas da Qualidade”, 1ª Edição, Instituto Português da Qualidade, Coordenação e Revisão Técnica APQ – Associação Portuguesa para a Qualidade – Departamento Técnico, ISBN 972-763-025-1

Grant, Eugene L.; Leavenworth, Richard S. (1988), 6ª -Edição, Nova Iorque: *McGraw-Hill International Editions*, ISBN 0-07-024117-1



Ghinato P. (2000), “Produção e competitividade: Aplicações e Inovações”, Editora Universitária da UFPE: Recife

Imai, Massaki (1997), “*Gemba Kaizen – A Commonsense, Low-Cost Approach to Management*”, 1ª Edição, Nova Iorque: McGraw-Hill, ISBN 0-07-031446-2

Juran, Joseph M.; Godfrey, A. Blanton (1999), “*Juran’s Quality Handbook*”, 5ª Edição, Nova Iorque: McGraw-Hill, ISBN 0-07-034003-X

Ohno, Taiichi (1997), “O Sistema *Toyota* de Produção: Além da produção em larga escala”, 1ª Edição, Porto Alegre: Bookman Companhia Editora, ISBN 85-7307-170-2

Pedrosa Dias, Elder Emanuel (2006), “Análise de Metodologia de Melhoria de Processos: Aplicações à Indústria Automobilística”, Universidade Federal Fluminense, Niteroi, última consulta: fevereiro 2012,  
[http://www.bdtd.ndc.uff.br/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=1814](http://www.bdtd.ndc.uff.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1814)

Pekar, Jack P. (1995), “*Total Quality Management: Guiding Principles for Application*”, Philadelphia: ASTM Publication, ISBN 0-8031-2062-1

Pinto, Eduardo Carlos Soares (2009), “Implementação da Folha de Verificação e do Gráfico de Pareto no Comércio Varejista para a Prevenção e Redução de Perdas: Estudo de Caso: Chama Supermercados”, Faculdade de Tecnologia da Zona Leste, São Paulo, último acesso: março de 2012, <http://www.fateczl.edu.br/TCC/2009-2/tcc-106.pdf>

Pinto, João Paulo. (2008), “*Lean Thinking – criar valor eliminando o desperdício*”, Comunidade *Lean Thinking*, última consulta: março 2012,  
[http://www.leanthinkingcommunity.org/livros\\_recursos/Joao%20Pinto%20Introducao%20ao%20Lean%20Thinking.pdf](http://www.leanthinkingcommunity.org/livros_recursos/Joao%20Pinto%20Introducao%20ao%20Lean%20Thinking.pdf)

Rempel, Ângelo (2009), “Análise de Processos e Aplicação das Ferramentas da Qualidade para Aumentar Eficiência de uma Sopradora de Garrafas PET”, último acesso: março 2012,  
<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/24252/000742672.pdf?sequence=1>

Rocha, César (2008), “Avaliação do impacto da implementação da ferramenta *lean manufacturing* e técnicas de gestão de estoque nos principais processos envolvidos numa linha de montagem de usinagem”, Universidade Federal Santa Catarina, Florianópolis, último acesso: março de 2012,

[http://www.tede.ufsc.br/tesesimplificado//tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=487](http://www.tede.ufsc.br/tesesimplificado//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=487)

Roldão, Victor Sequeira; RIBEIRO, Joaquim Silva (2007), “Gestão das Operações – Uma Abordagem Integrada”. Edições: Monitor: Lousã, 2007. ISBN: 978-972-9413-73-5

Rossato, Ivete de Fátima (1996), “Uma Metodologia para a Análise e Soluções de Problemas”, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, último acesso: março de 2012, <http://www.eps.ufsc.br/disserta96/rossato/indice/index.htm>

Ruther, Sidarta; Ceretta, Paulo Sérgio; Sonza, Igor Bernandi (2006), “Seis Sigma: Melhoria da Qualidade através da redução da variabilidade”, Revista Gestão Industrial, Paraná Brasil, nº02, p.173-190, último acesso: março de 2012, <http://revistas.utfpr.edu.br/pg/index.php/revistagi/article/view/123/120>

Toledo, José Carlos; Amaral, Daniel Capaldo “FMEA – Análise do Tipo e Efeito de Falha”, última consulta: março 2012,

<http://www.gepeq.dep.ufscar.br/arquivos/FMEA-APOSTILA.pdf>

Vieira, Joaquim Carvalho (2001), “Controlo Estatístico do Processo”, 1ª Edição, Instituto Português da Qualidade, Coordenação e Revisão Técnica APQ – Associação Portuguesa para a Qualidade – Departamento Técnico, ISBN 972-763-021-9

Womack, J.P., Jones D.T. (2003), “Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation”, Free Press London: Simon & Schuster, New York, ISBN: 0-7432-3164-3.

Zairi, Mohamed (1991), “*Total Quality Management for Enginners*”, 1ª Edição, Cambridge (Inglaterra): Woodhead Publishing, ISBN 1-85573-024-3

## ANEXO A: Constituição dos componentes térmicos, magnéticos e neutros

A Tabela A.1 demonstra as combinações entre os elementos elétricos que constituem os componentes térmicos e respetivos testes à solda realizados na área de soldadura para cada um deles.

**Tabela A. 1 – Constituição dos componentes térmicos**

Componentes	Bimetal-Trança	Borne curto-Trança	Contacto móvel-Trança	Pista de arco-Trança	Shunts-trança	Borne comprido-Trança	Terminal-Trança
<b>Térmicos 2P 5AC</b>	PSQ 10013- PLZ 2229C1	PKM 1001C1-PLZ 2229C1	PKM 1005CU-PLZ 2305C1	PLL 1001CU- PLZ 2305C1			
<b>Térmicos 2P 10/30</b>	PSQ 1018-PLZ 2507C1		PKM 1005CU- PLZ 2507C1	PLL 1001CU-PLZ 2235C1	PLP 1007- PLZ 2507C1	PKM 1002C1-PLZ 2235C1	
<b>Térmicos 2P 15/45</b>	PSQ 1011-PLZ 2403C1		PKM 1005CU- PLZ 2303C1	PLL 1001CU-PLZ 2303C1	PLP 1006-PLZ 2303C1	PKM 1002C1-PLZ 2403C1	
<b>Térmicos 2P 30/60</b>	PSQ 1015- PLZ 2403C1		PKM 1006CU - PLZ 2302C1	PLL 1001CU-PLZ 2302C1	PLP 1005-PLZ 2302C1	PKM 1002C1- PLZ 2403C1	
<b>Térmicos 2P 60/90</b>	PSQ 1015- PLZ 2408C1		PKM 1006CU- PLZ 2302C1	PLL 1001CU-PLZ 2302C1	PLP 1002-PLZ 2302C1	PKM 1002C1- PLZ 2408C1	PKM 1002AG-PLZ 2302C1
<b>Térmicos 4P 10/30</b>	PSQ 1019- PLZ 2201C1		PKM 1005CU- PLZ 2407C1	PLL 1001CU PLZ 2234C1	PLP 1003 -PLZ 2407C1	PKM 1002C1- PLZ 2234C1	
					PLP 1003-PLZ 2201C1		
<b>Térmicos 4P 30/60</b>	PSQ 1021- PLZ 2403C1		PKM 1005AG- PLZ 2302C1	PLL 1001CU- PLZ 2302C1	PLP1004-PLZ 2302C1	PKM 1002C1- PLZ 2403C1	

Através da Tabela A.1, pode aferir-se que o elemento pista de arco-trança é utilizado tanto no componente térmico 2P 30/60 como no componente 2P 60/90 e o elemento borne comprido-trança é usado na constituição dos componentes 2P 30/60, 2P 15/45 e 4P 30/60.

A Tabela seguinte mostra a constituição dos componentes neutros no processo de soldadura.

**Tabela A. 2 – Constituição dos componentes neutros**

Subconjuntos	Bimetal-Trança	Borne curto-Trança	Contacto móvel-Trança	Pista de arco-Trança
<b>Neutro 2P 15/45</b>		PKM 1001C1-PLZ 2508C1	PKM1005CU-PLZ 2508C1	PLL1001CU- PLZ 2508C1
<b>Neutro 2P 30/60</b>		PKM 1001C1-PLZ 2508C1	PKM1006CU-PLZ 2508C1	PLL1001CU- PLZ 2508C1
<b>Neutro 2P 60/90</b>	PSQ1020-PLZ 2237C1 (preta)	PKM 1001C1-PLZ 2237C1	PKM1006CU-PLZ 2408C1	PLL1001CU- PLZ 2408C1
	PSQ1020-PLZ 2406C1 (sem revestimento)	PKM 1001C1-PLZ 2406C1	PKM1004CU-PLZ 2408C1	PLL1001CU- PLZ 2408C1
<b>Neutro 4P 10/30</b>		PKM 1001C1-PLZ 2510C1	PKM1004CU-PLZ 2510C1	PLL1001CU- PLZ 2510C1
<b>4P 30/60</b>		PKM 1001C1-PLZ 2509C1	PKM1004CU-PLZ 2509C1	PLL1001CU- PLZ 2509C1

Como se pode averiguar na Tabela A.2, os elementos elétricos borne curto-trança e pista de arco-trança fazem parte da constituição dos componentes 2P15/45 e 2P30/60. Contudo, este último ainda é utilizado na composição do componente 2P 60/90 em 2 unidades, tal como o elemento contacto móvel-trança.

Por fim, na Tabela A.3, estão representadas as combinações de elementos que dão origem aos componentes magnéticos utilizados no mesmo processo.

**Tabela A. 3 – Constituição dos componentes magnéticos**

Subconjuntos	Borne curto-Trança	Bobine-Trança
<b>Magnéticos 2P5AC</b>	PKM 1001C1-PLZ 2207C1T (azul)	PCE0807C1- PLZ 2207C1T (azul)
	PKM 1001C1-PLZ 2202C1F (preta)	PCE0807C1- PLZ 2202C1F (preta)
<b>Magnéticos 2P10/30 AC</b>	PKM 1001C1-PLZ 2210C1F (preta)	PCE0807C1-PLZ 2210C1F (preta)
	PKM 1001C1-PLZ 2241C1T (azul)	PCE0807C1- PLZ 2241C1T (azul)
<b>Magnéticos 2P 15/45 AC</b>	PKM 1001C1-PLZ 2210C1F (preta)	Fase/neutro PCE 0803C1- PLZ 2210C1F (preta)
	PKM 1001C1-PLZ 2203C1T (branca)	Fase/neutro PCE 0803C1- PLZ 2203C1T (branca)
<b>Magnéticos 2P 15/45 S</b>	PKM 1001C1- PLZ 2220C1F (preta)	Fase PCE 0803C1- PLZ 2220C1F (preta)
	PKM 1001C1- PLZ2219C1T (branca)	Neutro PCE 0804C1- PLZ2219C1T (branca)
<b>Magnéticos 2P 30/60 AC</b>	PKM 1001C1- PLZ 2213C2T (vermelha/azul)	Fase/neutro PCE 0805C1- PLZ 2213C2T (vermelha/azul)
	PKM 1001C1- PLZ2215C2F (vermelha/preta)	PCE 0805C1- PLZ2215C2F (vermelha/preta)
<b>Magnéticos 2P 30/60 ND fase</b>	PKM 1001C1- PLZ2242C2 (vermelha/preta)	PCE0805C1-PLZ 2242C2
<b>Magnéticos 2P 30/60 S</b>	PKM 1001C1-PLZ 2216C2F (vermelha/preta)	PCE 0805C1-PLZ 2216C2F (vermelha/preta)
	PKM 1001C1- PLZ 2214C2T (vermelha/azul)	PCE 0806C1-PLZ 2214C2T (vermelha/azul)
<b>Magnéticos 2P 60/90 AC</b>	PKM 1001C1-PLZ 2227C1T (preta)	PCE 0809C1- PLZ 2227C1T (preta)
	PKM 1001C1- PLZ 2228C2 (pretas)	PCE 0809C1- PLZ 2228C2 (pretas)
	PKM 1001C1- PLZ 2226C2 (vermelhas)	PCE 0809C1- PLZ 2226C2 (vermelhas)
	PKM 1001C1-PLZ 2226C2F (vermelhas)	PCE 0809C1- PLZ 2226C2 (vermelhas)

(continua na página seguinte)

(continuação)

Subconjuntos	Borne curto-Trança	Bobine-Trança
<b>Magnéticos 2P 60/90 S</b>	PKM 1001C1-PLZ 2227C1T (preta)	PCE0809C1- PLZ 2227C1T (preta)
	PKM 1001C1- PLZ 2228C2 (pretas)	PCE 0809C1- PLZ 2228C2 (pretas)
	PKM 1001C1- PLZ 2226C2 (vermelhas)	PCE 0809C1-PLZ 2226C2 (vermelhas)
	PKM 1001C1-PLZ 2226C2F (vermelhas)	PCE 0809C1-PLZ 2226C2 (vermelhas)
<b>2P e 4P 10/30 ND</b>	PKM 1001C1-PLZ 2205C1 (branca)	PCE 0802C1-PLZ 2205C1
<b>4P 10/30 ND neutro</b>	PKM 1001C1-PLZ 2212C1	PCE 0802C1-PLZ 2212C1
<b>4P 10/30 AC</b>	PKM 1001C1-PLZ 2204C1 (branca)	PCE 0802C1- PLZ 2204C1 (branca)
	PKM 1001C1-PLZ 2208C1F (preta)	PCE 0802C1- PLZ 2208C1F (preta)
	PKM 1001C1-PLZ 2211C1T (azul)	PCE 0802C1- PLZ 2211C1T (azul)
	PKM 1001C1-PLZ 2206C1 (vermelha)	PCE 0802C1- PLZ 2206C1 (vermelha)
<b>4P 10/30 S</b>	PKM 1001C1-PLZ 2204C1 (branca)	PCE 0802C1-PLZ2204C1 (branca)
	PKM 1001C1-PLZ 2208C1F (preta)	PCE 0802C1- PLZ 2208C1F (preta)
	PKM 1001C1-PLZ 2211C1T (azul)	PCE 0804C1-PLZ 2211C1T (azul)
	PKM 1001C1-PLZ 2206C1 (vermelha)	PCE 0802C1- PLZ 2206C1 (vermelha)
<b>4P 30/60 ND</b>	PKM 1001C1-PLZ 2205C2	PCE 0808C1-PLZ 2205C2
<b>4P 30/60 ND neutros</b>	PKM 1001C1-PLZ 2212C1	PCE 0805C1- PLZ 2212C1
<b>4P 30/60 AC</b>	PKM 1001C1-PLZ 2211C1T (azul)	Neutro PCE 0805C1- PLZ 2211C1T (azul)
	PKM 1001C1-PLZ 2223C2 (azul)	PCE 0808C1-PLZ 2223C2 (transparente)
	PKM 1001C1-PLZ 2225C2F (preta)	PCE 0808C1- PLZ 2225C2F (preta)
	PKM 1001C1-PLZ 2224C2 (vermelho)	PCE 0808C1-PLZ 2224C2 (vermelho)
<b>4P 30/60 S</b>	PKM 1001C1-PLZ 2211C1T (azul)	Neutro PCE 0806C1- PLZ 2211C1T (azul)
	PKM 1001C1-PLZ 2223C2	Fase PCE 0808C1- PLZ 2223C2 (transparente)
	PKM 1001C1-PLZ 2225C2F (preta)	PCE 0808C1- PLZ 2225C2F (preta)
	PKM 1001C1-PLZ 2224C2 (vermelho)	PCE 0808C1- PLZ 2224C2 (vermelho)

No que diz respeito a estes tipos de componentes, pode verificar-se, através da Tabela A.3, que o elemento borne curto-trança, de cor preta, é soldado tanto para o componente magnético 2P 10/30 AC como para o 2P 15/45AC e ambos os componentes 2P 60/90AC e 2P 60/90S são constituídos pelos mesmos elementos elétricos.

Por outro lado, observou-se ainda que acontece o mesmo para os componentes 4P 10/30AC/S e 4P30/60AC/S, à exceção do elemento bobine-trança de cor azul, que varia de componente para componente.

Em suma, concluiu-se que em alguns casos para diferentes componentes elétricos são utilizados os mesmos elementos.

## ANEXO B: Contabilização das quantidades e custos dos defeitos planeados

Na Tabela B.1, são demonstrados os tipos de arrancamentos que surgiram e os materiais que podiam ter sido aproveitados. De salientar que as recolhas de dados foram realizadas de 23 a 28 de fevereiro, de 24 de fevereiro a 7 de março, 26 a 30 de março e, por fim, de 9 a 13 de abril. Todas estas recolhas tiveram uma duração de 1 semana para que tivessem o mesmo intervalo de tempo de comparação.

Assim sendo, esta análise teve como objetivo identificar a quantidade de desperdícios obtida com o controlo estatístico do processo.

**Tabela B. 1 – Testes e quantidades médias do controlo estatístico recolhidas das 4 amostras de dados**

Tipo de testes	Nº de testes	Quantidades de elementos que poderiam ter sido aproveitados nos testes				
		Shunt	Contacto móvel	Trança	Pista de arco	Bimetal
Trança ao bimetal	225	121	125	141	120	0
Trança à pista de arco	62	4	24	0	0	0
Trança ao shunt	89	12	30	1	26	1
Pista de arco ao bimetal	121	49	66	84	0	0
Trança ao borne	23	6	13	4	13	0
Trança ao contacto móvel	93	3	0	0	1	0
Trança à trança	9	9	4	0	0	0
<b>Total</b>	<b>602</b>	<b>177</b>	<b>261</b>	<b>232</b>	<b>159</b>	<b>1</b>
<b>Total de elementos desperdiçados</b>						<b>914</b>

Como se pode verificar através da Tabela B.1, a média dos testes às operações de soldadura efetuados elementos elétricos foi de 602. Destes testes, poderiam ter sido aproveitados 914 elementos para a produção e não para a realização do teste às operações de soldadura.

Além deste fato, ocorreram outros, incluindo a realização dos testes de um modo incorreto, que fez com que alguns bornes ficassem danificados e não possam ser reutilizados na produção, gerando um maior número de elementos não conformes.

Todavia, ao longo das recolhas de dados, verificaram-se situações positivas, como a consciencialização por parte de alguns recursos humanos em aproveitar os componentes que já tinham sido utilizados em testes à solda para serem novamente testados ou, pelo menos parte deles.

**Nota:** Uma situação que ocorria era que os colaboradores não sabiam bem diferenciar entre o controlo estatístico e dos defeitos não conformes ou não se interessavam muito em separar estes dois tipos de problemas, pois frequentemente ocorria troca dos elementos elétricos (quer sejam parciais ou completos) nos contentores de supermercado dos “arrancamentos”.

Contudo, em termos económicos, tornou-se essencial verificar os gastos que se tinham com os elementos que eram desperdiçados nos teste às operações de soldadura.

Assim sendo, foi efetuada uma média para estimar os respetivos custos (Tabela B.2).

**Tabela B. 2 - Média dos custos dos elementos elétricos/entidade**

Elementos	Custos
Shunt	0,30€
Borne	0,19€
Bimetal	0,04€
Pista de arco	0,03€
Contacto móvel	0,30€
Bobine	0,52€
Tranças térmicos	0,04€
Tranças magnéticas	0,02€
Tranças neutros	0,12€

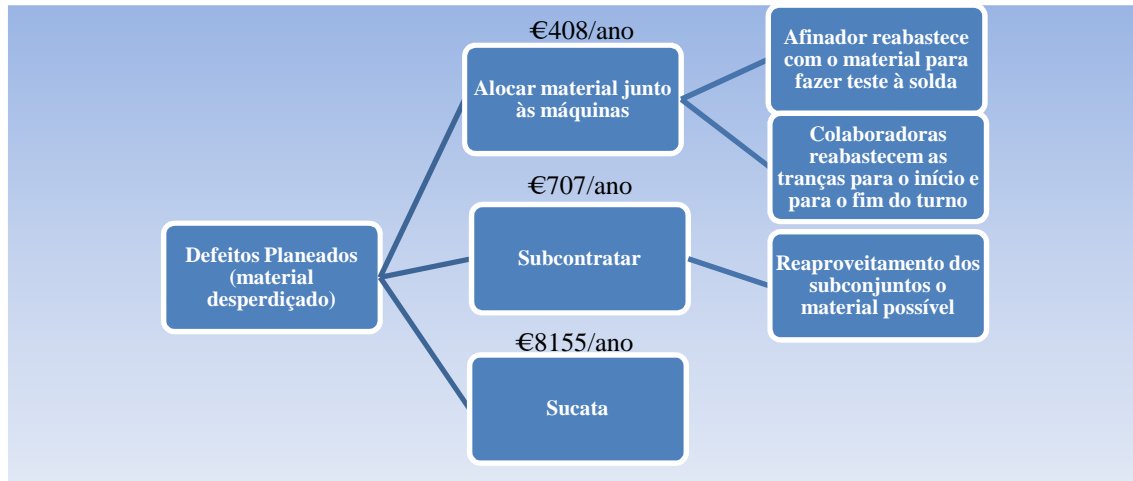
Estimados os custos, foi possível contabilizar os gastos monetários resultantes dos arrancamentos e desperdício gerado (Tabela B.3).

**Tabela B. 3 – Gastos médios obtidos do controlo estatístico do processo**

Tipo de testes	Custos dos testes (€)	Custos desnecessários nos testes				
		Shunt	Contacto móvel	Trança	Pista de arco	Bimetal
Trança ao bimetal	18,06 €	36,15 €	57,17 €	5,64 €	3,59 €	0,00 €
Trança a pista de arco	6,77 €	0,45 €	6,89 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Trança ao shunt	30,35 €	0,00 €	10,92 €	0,05 €	0,77 €	0,02 €
Pista de arco ao bimetal	8,44 €	14,18 €	17,49 €	3,37 €	0,00 €	0,00 €
Trança ao borne	6,21 €	1,20 €	3,71 €	0,32 €	0,39 €	0,00 €
Trança ao contacto móvel	32,11 €	0,98 €	0,00 €	0,02 €	0,02 €	0,00 €
Trança a trança	0,68 €	2,55 €	0,91 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
<b>Total</b>	<b>101,95 €</b>	<b>47,78 €</b>	<b>97,08 €</b>	<b>9,40 €</b>	<b>4,77 €</b>	<b>0,02 €</b>
		Total de elementos desperdiçados				159,05 €

Assim, no controlo estatístico do processo, obteve-se, em média, um total de custos de €261,00, dos quais €159,05 (mais de 60%) eram referentes aos elementos desperdiçados.

Contabilizados todos os custos associados ao controlo estatístico do processo, tornou-se ainda importante esquematizar os possíveis cenários desses defeitos que davam origem a diferentes custos mensais em termos de planeamento. Para tal, utilizou-se o diagrama representado na Figura B.1, com o intuito de se averiguar qual cenário que oferece melhores condições monetárias para se operar.



**Figura B. 1 - Diagrama dos possíveis cenários material que poderia ter sido aproveitado**

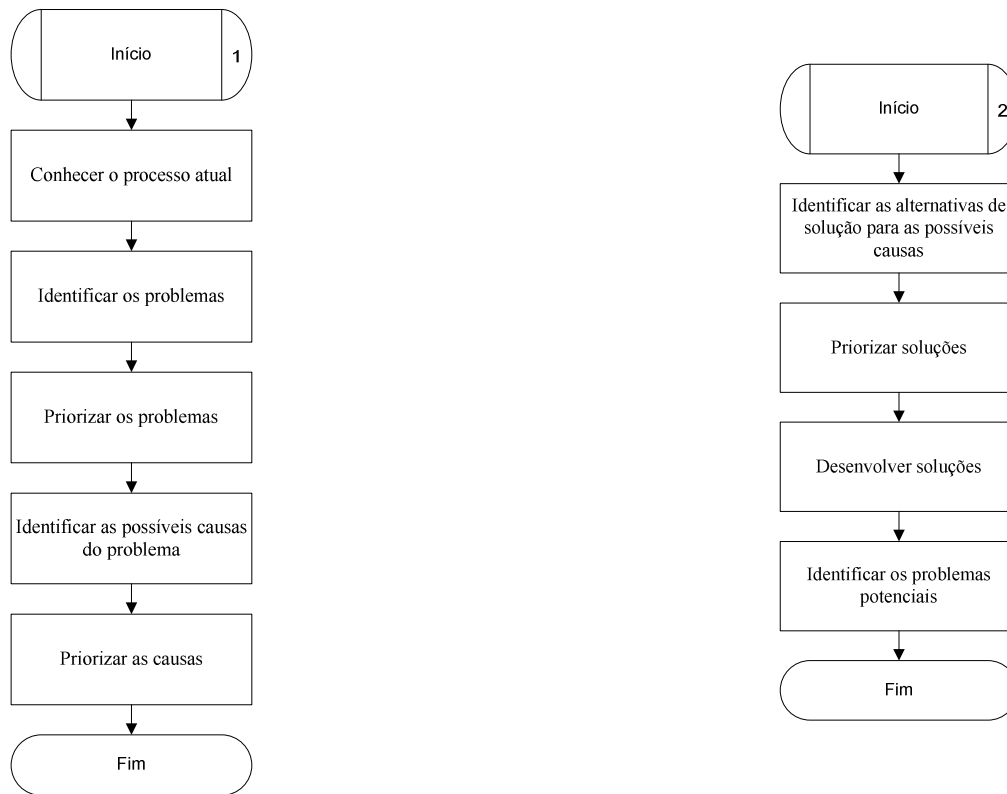
De modo a contabilizar-se os custos associados aos cenários anteriores, foi feita uma leitura dos movimentos registados no mês de fevereiro (Tabela B.4).



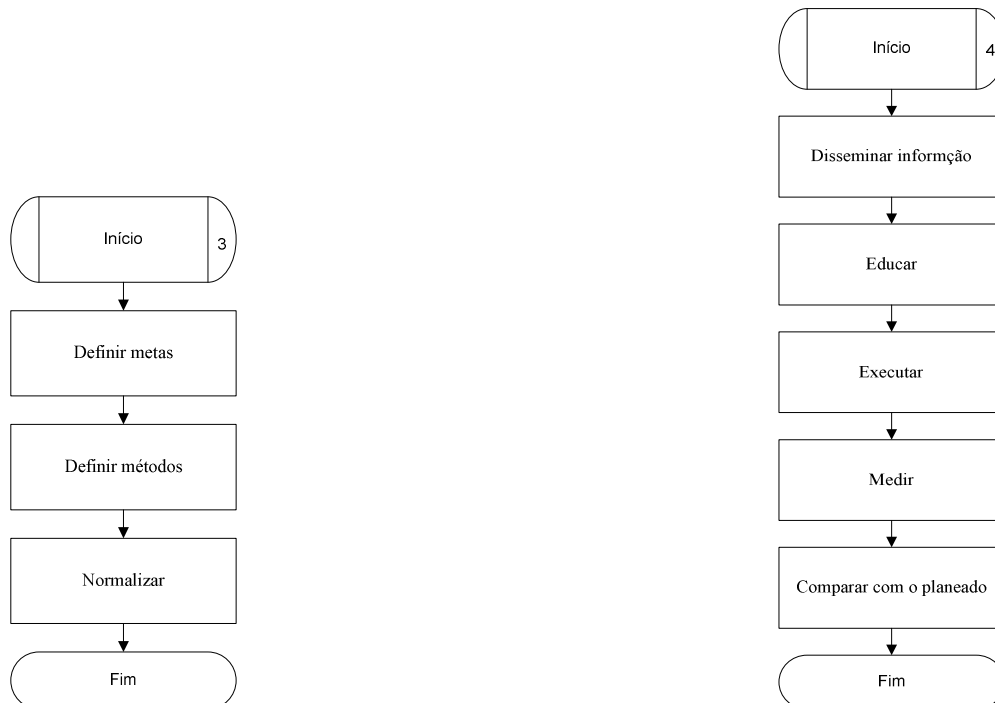
**Tabela B. 4 - Movimentos gerados com subcontratado por reaproveitamento de elementos elétricos dos defeitos planeados**

Elementos	Enviados para subcontrato	Recuperados	Custo/unidade (recuperados)	Custo/quantidade (reaproveitamento)	Sucata	Custo/unidade (sucata)	Custo/quantidade (sucata)
<b>PKM1004</b>	35	25	0,04€	3,25€	10	0,13€	0,4€
<b>PKM1005</b>	520	505	0,04€	75,75€	25	0,15€	1,00€
<b>PKM1006</b>	350	311	0,04€	149,28	39	0,48€	1,56€
<b>PLP1002</b>	12	7	0,04€	1,68€	5	0,24€	0,20€
<b>PLP1003</b>	161	155	0,04€	38,75€	6	0,25€	0,24€
<b>PLP1004</b>	150	146	0,04€	35,04€	4	0,24€	0,16€
<b>PLP1005</b>	144	141	0,04€	38,07€	3	0,27€	0,12€
<b>PLP1006</b>	170	160	0,04€	32,00€	10	0,20€	0,40
<b>PLP1007</b>	52	23	0,04€	6,21€	49	0,27€	1,60€
			Total	58,92€		Total	43,47€

## ANEXO C: Subdivisões do fluxograma dos defeitos não planeados



**Figura C. 1 - Subdivisão: Recolher e analisar os dados dos defeitos não planeados (1) e Subdivisão: Analisar soluções (2)**






**Figura C. 2 - Subdivisão: Planear a implementação das soluções (3) e Subdivisão: Implementar, Avaliar e analisar soluções (4)**

**ANEXO D: Tabela de auxílio da construção do Diagrama de Pareto****Tabela D. 1 - Média dos tipos de defeitos não planeados**

<b>Tipo de defeitos</b>	<b>Quantidades</b>	<b>Frequência relativa</b>	<b>Frequência acumulada</b>
<b>Bobines não conformes (detetados nos testes)</b>	159	20%	20%
<b>Trança mal compactada</b>	102	13%	33%
<b>Núcleos com os fios partidos</b>	76	10%	43%
<b>Bobines mal posicionadas</b>	50	6%	49%
<b>Núcleo não conformes (detetados nos testes)</b>	40	5%	54%
<b>Corte das tranças incorretas (comprido ou curto demais nas zonas compactadas)</b>	39	5%	59%
<b>Shunts tortos</b>	32	4%	63%
<b>Distâncias entre os conjuntos</b>	26	3%	67%
<b>Contacto móvel mal posicionadas</b>	22	3%	70%
<b>Empeno e comprimento incorreto do bimetálico</b>	21	3%	72%
<b>Bimetálicos mal posicionadas</b>	20	3%	75%
<b>Bimetálicos tortos</b>	20	3%	77%
<b>Borne largo/desapertado</b>	17	2%	79%
<b>Falta de fio preto (fase)</b>	16	2%	81%
<b>Contacto móvel torto</b>	15	2%	83%
<b>Bobine esmagada</b>	15	2%	85%
<b>Bobine dessoldada</b>	14	2%	87%
<b>Contacto móvel desmanchado</b>	12	1%	88%
<b>Pista de arco mal posicionadas</b>	12	1%	90%
<b>Bornes mal posicionadas</b>	11	1%	91%
<b>Shunts mal posicionados</b>	11	1%	93%
<b>Revestimentos das tranças mal feito</b>	9	1%	94%
<b>Bornes tortos</b>	9	1%	95%
<b>Trança sem terminal</b>	8	1%	96%
<b>Trança encontra-se esmagada</b>	8	1%	97%
<b>Parafuso do borne</b>	6	1%	98%
<b>Núcleo ao contrário</b>	4	1%	98%
<b>Bobine com inclinação na espiral</b>	4	0%	99%
<b>Bobines tortas</b>	2	0%	99%
<b>Pista de arco torta</b>	2	0%	99%
<b>Pista de arco torta</b>	2	0%	99%
<b>Trança com parede</b>	1	0%	100%
<b>Material encontra-se trocado</b>	1	0%	100%
<b>Tranças trocadas</b>	1	0%	100%
<b>Filamentos da trança soltos</b>	1	0%	100%
<b>Terminal Torto</b>	1	0%	100%
<b>Bobine com falta de verniz</b>	0	0%	100%
<b>União quebradas</b>	0	0%	100%
<b>Total</b>	784		

## ANEXO E: Principais defeitos gerados na área da soldadura

Tabela E. 1- Principais defeitos na soldadura

	<p>Bobine mal posicionada</p>
	<p>Corte incorreto na trança</p>
	<p>Núcleos com fios partidos (lado esquerdo AC e do lado direito S)</p>
	<p>Núcleos não conformes (marcados nos testes)</p>

(Continuação na página seguinte)

(Continuação)

	<p>Shunts tortos</p>
	<p>Trança mal compactada</p>
	<p>Bobines não conformes (marcadas dos testes)</p>
	<p>Contacto móvel mal posicionado</p>
	<p>Comprimento do corte incorreto (lado esquerdo) e corte do lado contrário (lado direito da figura)</p>

## ANEXO F: Diagramas de Ishikawa (Causa-efeito)

Na Figura F.1, é apresentado o Diagrama Causa-Efeito relativo às bobines mal posicionadas.

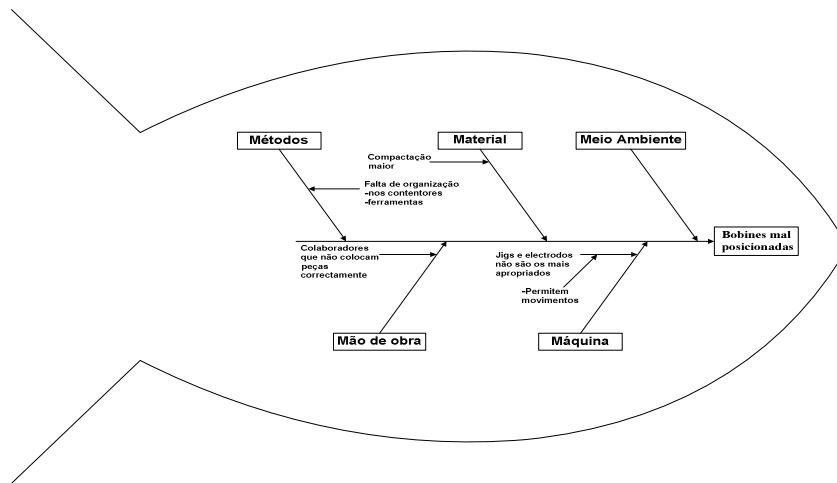


Figura F. 1 - Diagrama Causa-Efeito - bobines mal posicionadas

Com este diagrama, o que se pretendeu foi identificar as causas do problema “bobines mal posicionadas”. Este problema, no que diz respeito às Máquinas e à Mão-de-obra, dava-se devido aos problemas das bobines marcadas nos testes. Nas Máquinas, os *jigs* e os eléctrodos não eram os mais apropriados, uma vez que estes permitiam bastante movimento e, na Mão-de-obra, podiam impedir os colaboradores de colocar corretamente as peças.

Relativamente ao Material, a causa associada era a compactação do mesmo (podia estar larga); no que diz respeito aos Métodos, existia uma falta de organização nos contentores (onde se encontravam os elementos elétricos e os produtos semiacabados) e as ferramentas não se encontravam num local próximo dos colaboradores, o que originava uma constante procura e gasto de tempo.

Na Figura F.2, expõe-se o Diagrama Causa-Efeito respeitante às “tranças mal compactadas”.

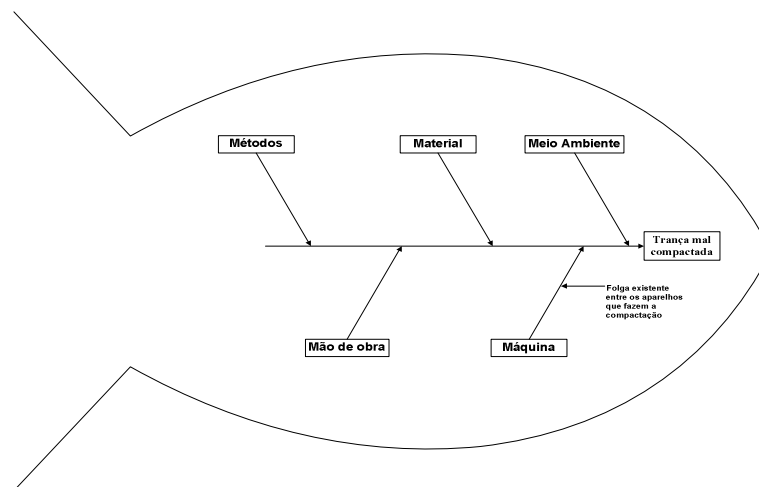


Figura F. 2 - Diagrama de causa e efeito - trança mal compactada

Neste caso, somente nas Máquinas é que existia causa - a folga que existia entre as porcelanas responsáveis pela compactação que provocava a má compactação.

A Figura F.3 descreve a única causa associada ao problema “corte das tranças não é o correto”, pois a compactação podia ficar comprida ou curta demais.

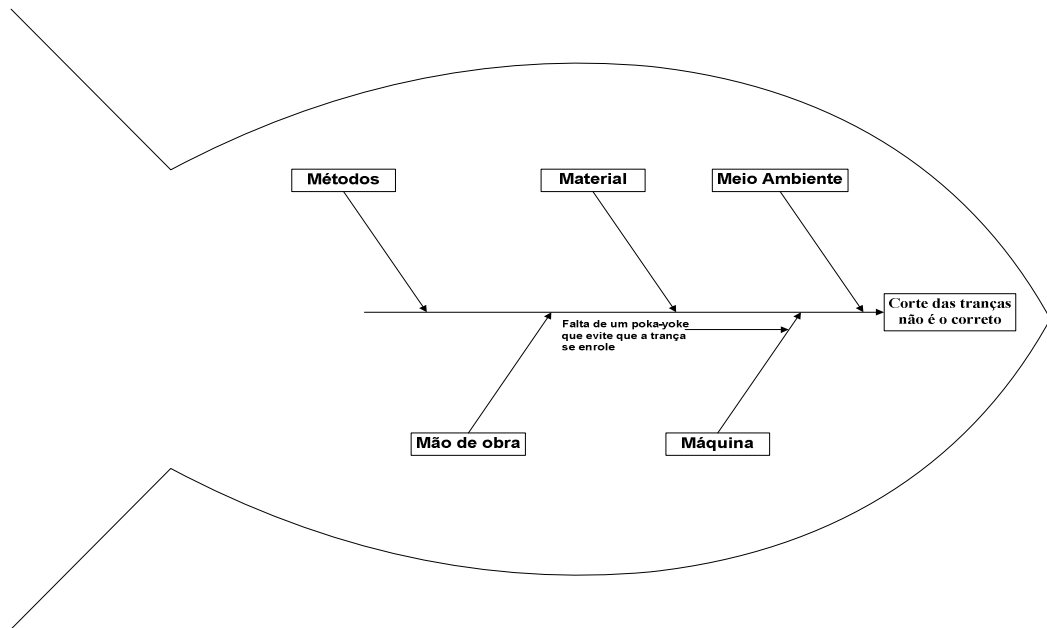


Figura F. 3 - Diagrama de causa e efeito - corte das tranças não é o correto

Assim, a causa existente no diagrama refletia a falta de um *poka-yoke* para evitar que a trança se enrolasse aquando é utilizada.

Na Figura F.4, encontra-se o Diagrama Causa-Efeito relativo ao efeito “núcleos com fios partidos”.

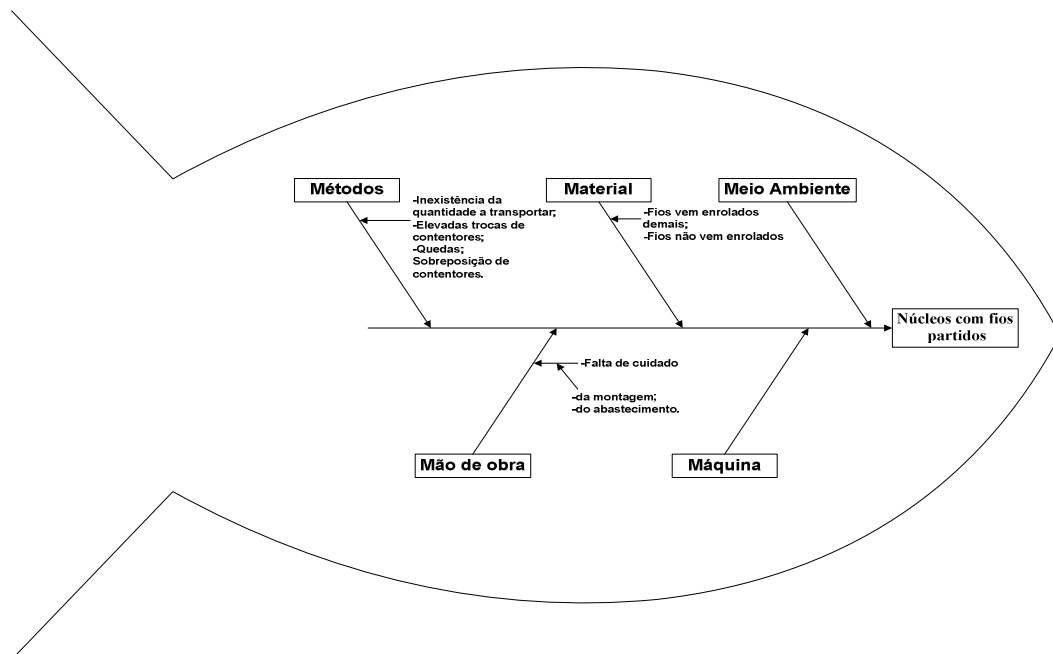


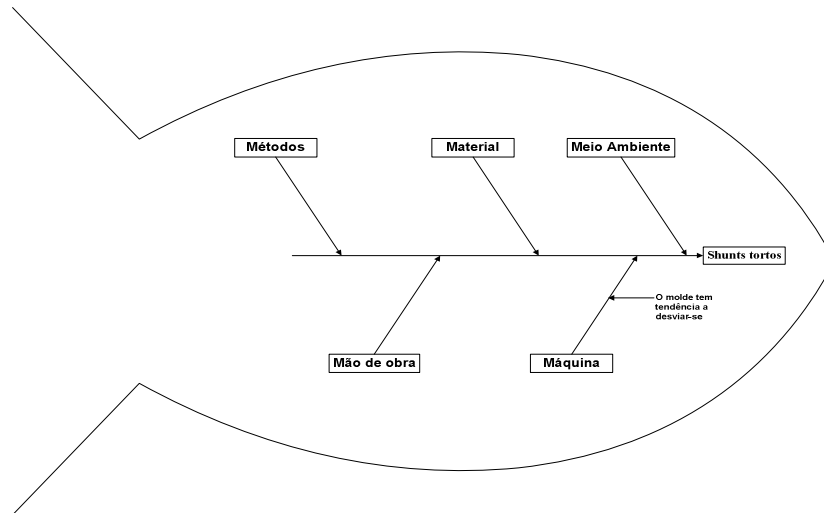
Figura F. 4 - Diagrama Causa-Efeito - núcleos com fios partidos

No que respeita à secção do Material, as causas do problema eram os fios que vinham demasiado enrolados ou mesmo desenrolados. Quanto à secção do Método, as causas possíveis eram: a inexistência da quantidade a transportar, as elevadas trocas de contentores,

as quedas e a sobreposição dos contentores, quer no fornecedor, quer em supermercados interno. Por fim, para a Mão-de-obra, a causa era a falta de cuidado na montagem e abastecimento que originava a quebra dos fios dos núcleos.

Nota: O diagrama Causa-Efeito dos “os núcleos não conforme”, era idêntico ao diagrama dos “núcleos com fios partidos”, logo não se justificava a sua apresentação

Na Figura F.5, pode-se verificar o Diagrama Causa-Efeito com o efeito *shunts* tortos.

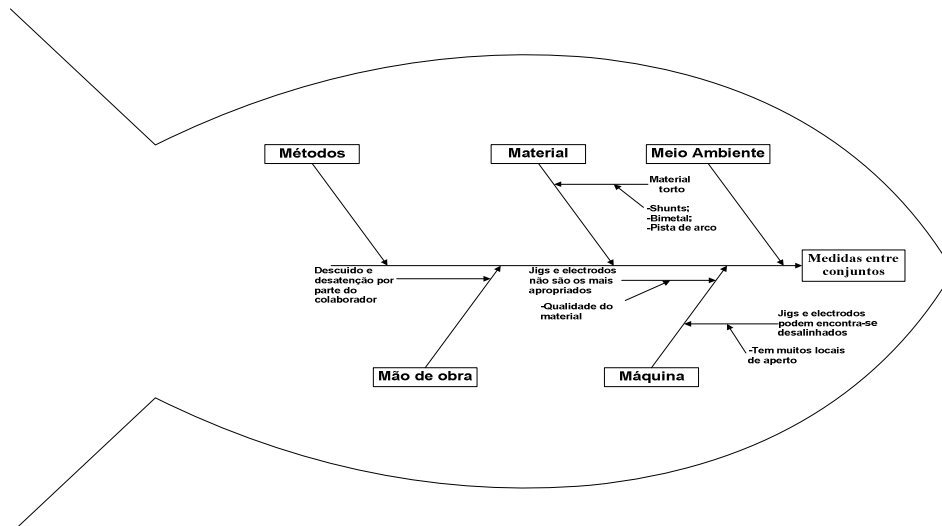


**Figura F. 5 - Diagrama Causa-Efeito - Shunts tortos**

No que diz respeito às Máquinas, a causa era o molde que tendia a desviar-se.

Nota: Outro diagrama analisado do empenho e comprimento não correto do bimetálico era idêntico ao dos *shunts* tortos e não é apresentado.

Na Figura F.6, é demonstrado o diagrama de Causa-Efeito referente ao efeito “medidas entre conjuntos”.



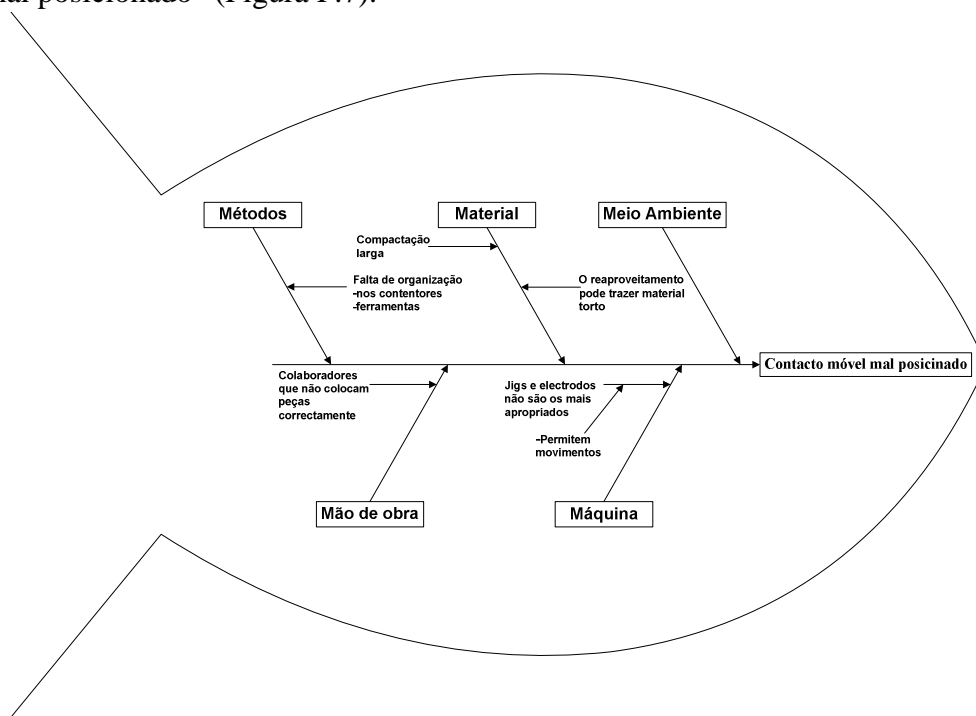
**Figura F. 6 - Diagrama Causa-Efeito do defeito “distância entre os elementos”**



Relativamente às causas das Máquinas, os *jigs* e os eléctrodos encontravam-se desalinhados, uma vez que tinham muitos apertos (existia igualmente muitos movimentos); os *jigs* e os eléctrodos podiam não ser os mais apropriados devido à qualidade do material.

No que diz respeito à Mão-de-obra e ao material, as causas que se geravam eram: o descuido e a desatenção por parte do recurso humano e o próprio material por ser torto, quer nos *shunts*, bimetal ou pista de arco.

Por último, tem-se o diagrama Causa-Efeito relativo ao efeito em questão é o “Contacto móvel mal posicionado” (Figura F.7).



**Figura F. 7 - Diagrama de causa-efeito com o defeito “contacto móvel mal posicionado”**

Por observação da Figura F.7, as causas eram idênticas ao problema “bobines mal posicionadas”, tendo um acréscimo de uma causa principal no Material, o reaproveitamento das peças no subcontrato que podiam trazer material disforme.

## ANEXO G: Análise de cartas de controlo

Os elementos que se encontravam estabilizados, pois a variação não é significativa e atribuível apenas a causas comuns, eram: as cartas das amplitudes das operações contacto móvel (neutro), do borne curto – trança preta, do *shunt* (térmico) e a carta das médias da operação da bobines – trança branca. Contudo, o processo deve ser acompanhado para que não ocorram as situações de descontrolo, sendo necessário, no futuro, aumentar a dimensão da amostra em análise.

Assim sendo, essas cartas estão representadas nas seguintes figuras: G.1, G.2, G.3 e G.4.

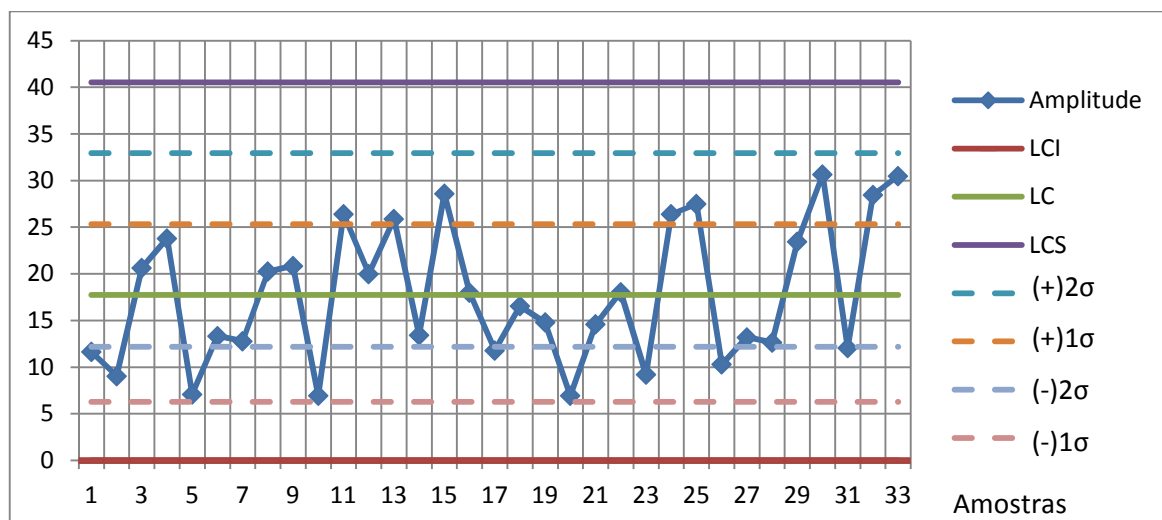


Figura G. 1 - Cartas de controlo das amplitudes - contacto móvel (neutro)

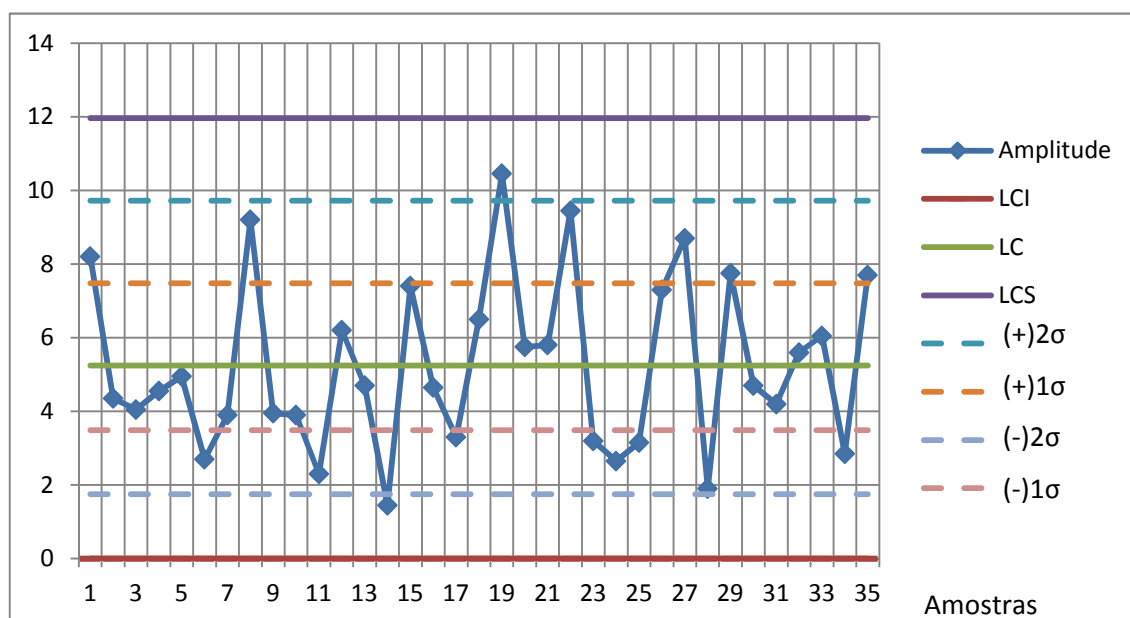


Figura G. 2 - Carta de controlo das amplitudes: borne curto – trança preta

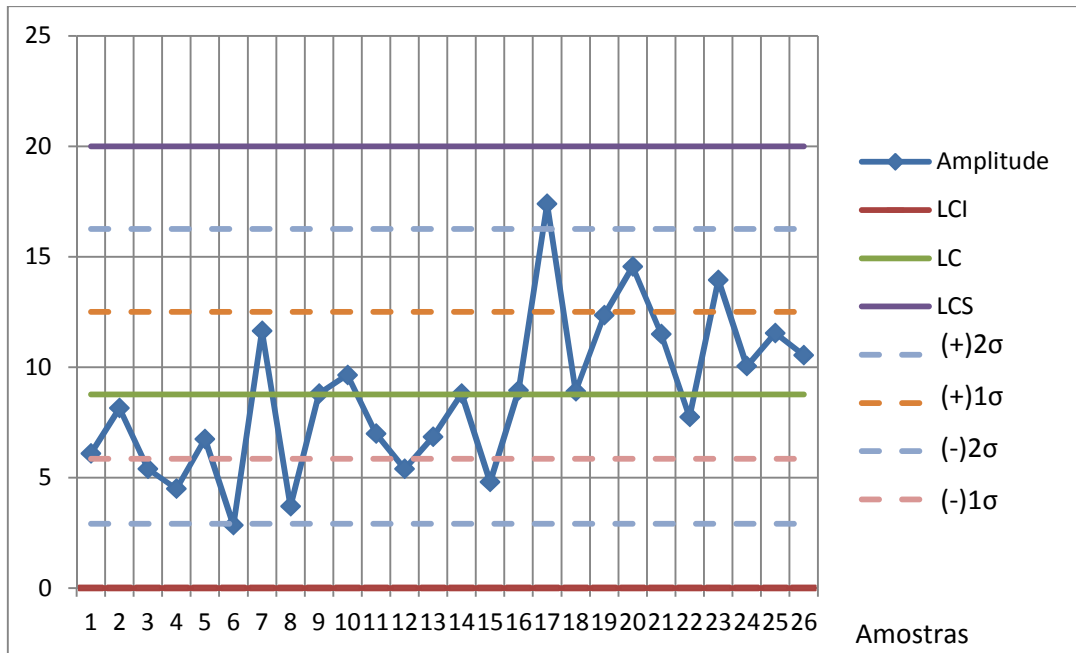


Figura G. 3 - Carta de controle das amplitudes: *shunt*

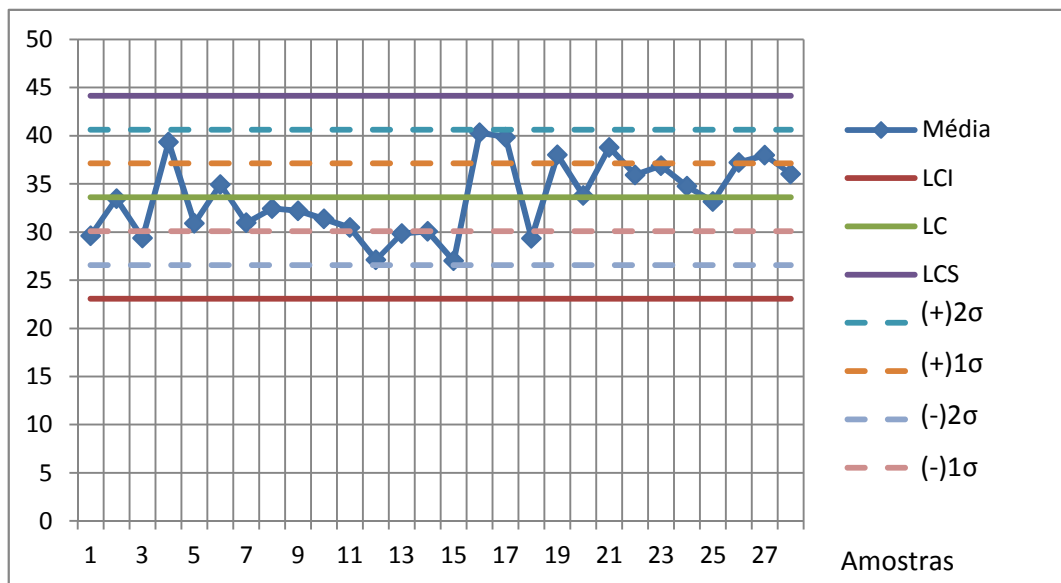
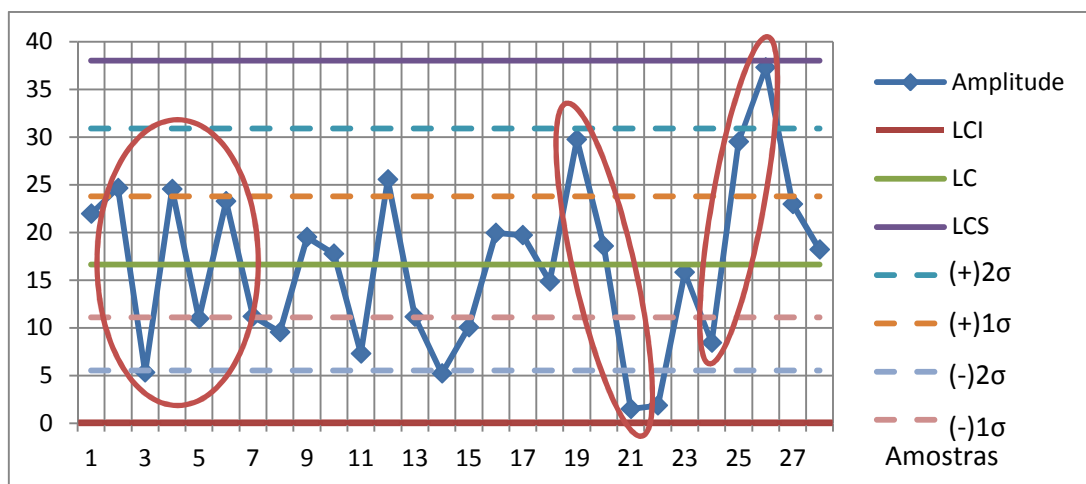


Figura G. 4 - Carta de controle das médias: bobine – trança branca

No processo em questão, relativamente aos testes à solda para cada um dos elementos elétricos, existiam situações de descontrolo. As cartas de controle obtidas nessas situações, para cada uma das operações e tendo em conta a causa que originava tal variação, são as apresentadas na Tabela G.1 e representadas nas figuras que se seguem.

Tabela G. 1- Quadro resumo das cartas de controlo

Figuras	Operações	Causas	Cartas de situação de descontrolo
G.5	Bobine-trança preta	-Material conter pó e/ou gordura -Qualidade do material	Amplitude
G.6	Bobine-trança preta	-Material conter pó e/ou gordura	Média
G.7	Bobine-trança branca	-Material conter pó e/ou gordura	Amplitude
G.8	Borne curto-trança branca	-Material conter pó e/ou gordura -Aumento ligeiro de temperatura	Amplitude
G.9	Borne curto-trança branca	-Material conter pó e/ou gordura	Média
G.10	Bimetal	-Qualidade do material	Amplitude
G.11	<i>Shunt</i>	-Qualidade do material -Pouca fita de solda	Média
G.12	Contacto móvel (térmico)	-Pouca fita de solda	Amplitude
G.13	Contacto móvel (térmico)	-Desgaste dos elétrodos -Diminuição da temperatura -Qualidade do material	Média
G.14	Pista de arco (térmico)	-Material conter pó e/ou gordura -Método não está bem definido pois, provoca movimentos	Amplitude
G.15	Pista de arco (térmico)	-Método não está bem definido pois, provoca movimentos	Média
G.16	Borne comprido	-Refrigeração da máquina	Amplitude
G.17	Borne comprido	-Aumento da temperatura da máquina -Qualidade do material	Média



Através da Figura G.5, presenciava-se a situação de padrões anormais de evolução: autocorrelação negativa nos pontos 2 ao 7 (pelas mesmas razões da Figura 30 do ponto 14). Nos pontos 19 ao 21, a situação que ocorreu era a de padrões anormais de evolução: grandes oscilações. A mesma situação sucede nos pontos 24 ao 26, mas a razão pela qual segue o descontrolo era a qualidade do material.

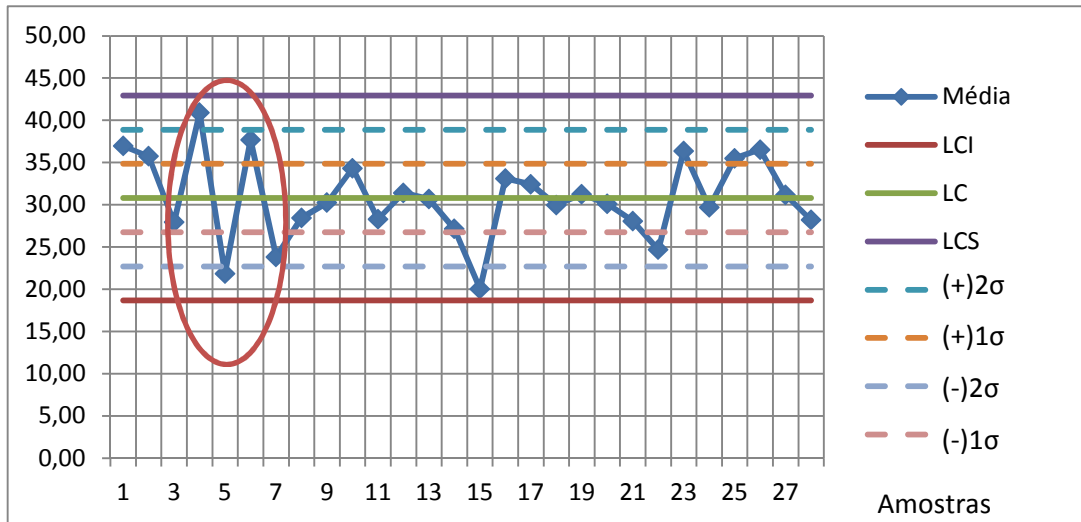


Figura G. 6 - Carta de controlo das médias: bobine – trança preta

Por observação da Figura G.6, verificou-se, dos pontos 3 ao 7, a situação de padrões anormais de evolução: autocorrelação negativa, como foi referida nas cartas de controlo das amplitudes e pelas mesmas razões da carta anterior de controlo.

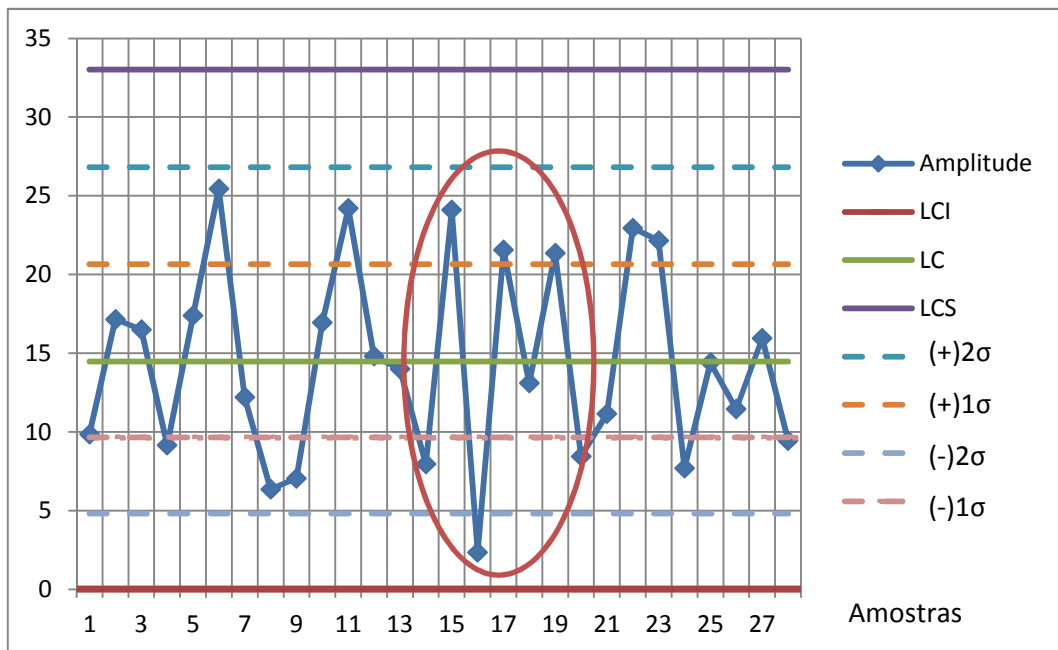


Figura G. 7 - Carta de controlo das amplitudes: bobine – trança branca

Na Figura G.7, constatou-se que os pontos 14 ao 20 apresentavam padrões anormais de evolução: autocorrelação negativa e a razão pela qual ocorreu a situação de descontrolo é semelhante às anteriores.

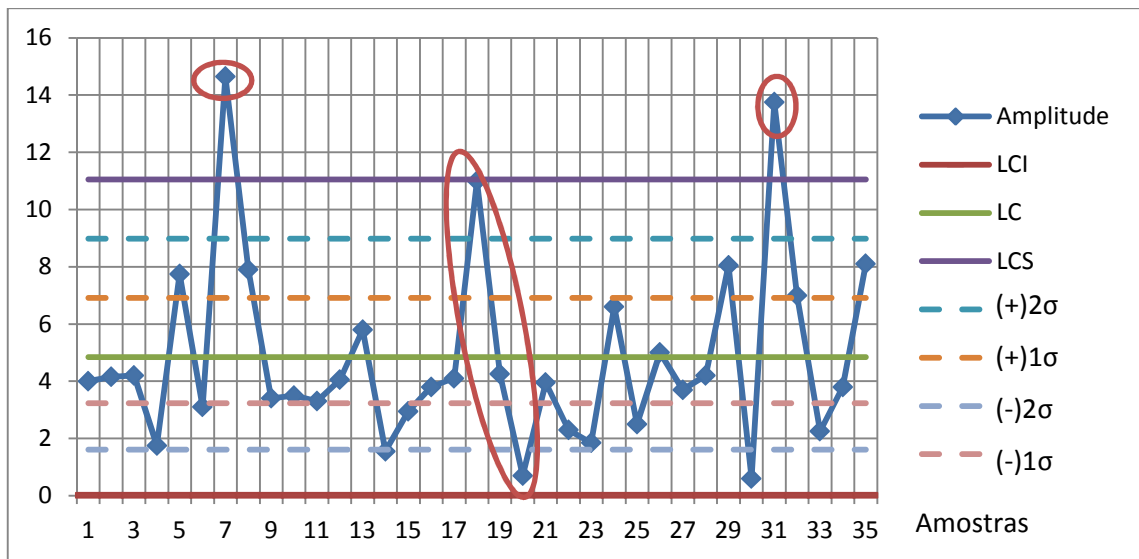


Figura G. 8 - Carta de controle das amplitudes: borne curto – trança branca

Na Figura G.8, verificou-se a existência de dois pontos fora de controlo: o ponto 7 e o ponto 31. Outra situação observada foi a do ponto 18 ao ponto 20, em que ocorreram padrões anormais de evolução: grandes oscilações, que acontecem por haver um aumento ligeiro da temperatura da máquina e devido ao material conter pó e/ou gordura.

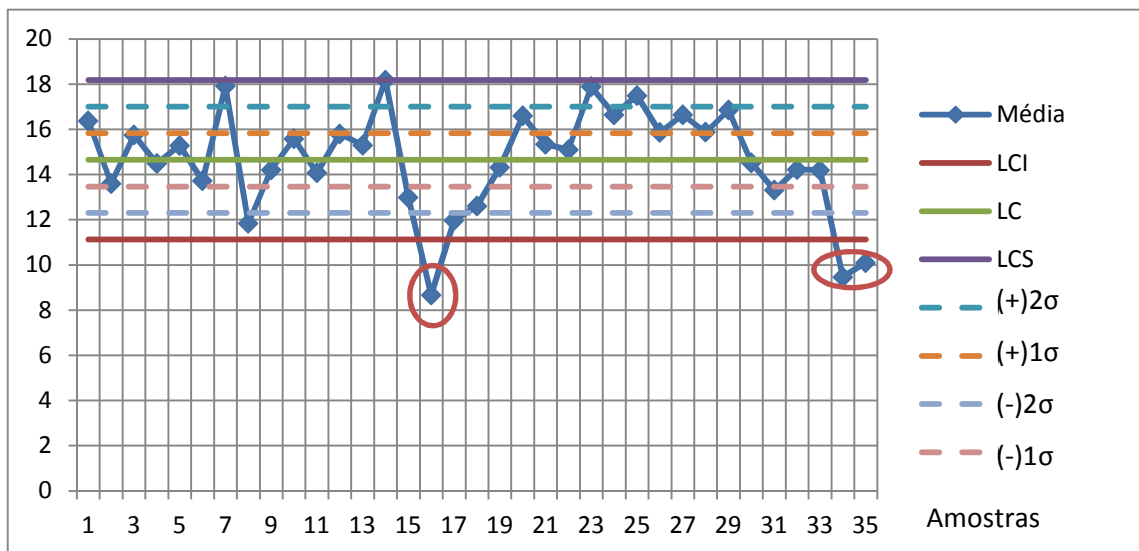


Figura G. 9 - Carta de controle das amplitudes: borne curto – trança branca

Na Figura G.9, comprovou-se que existiam três pontos fora do limite inferior da carta de controlo (pontos 16, 34 e 35), resultantes do material conter pó e/ou gordura.

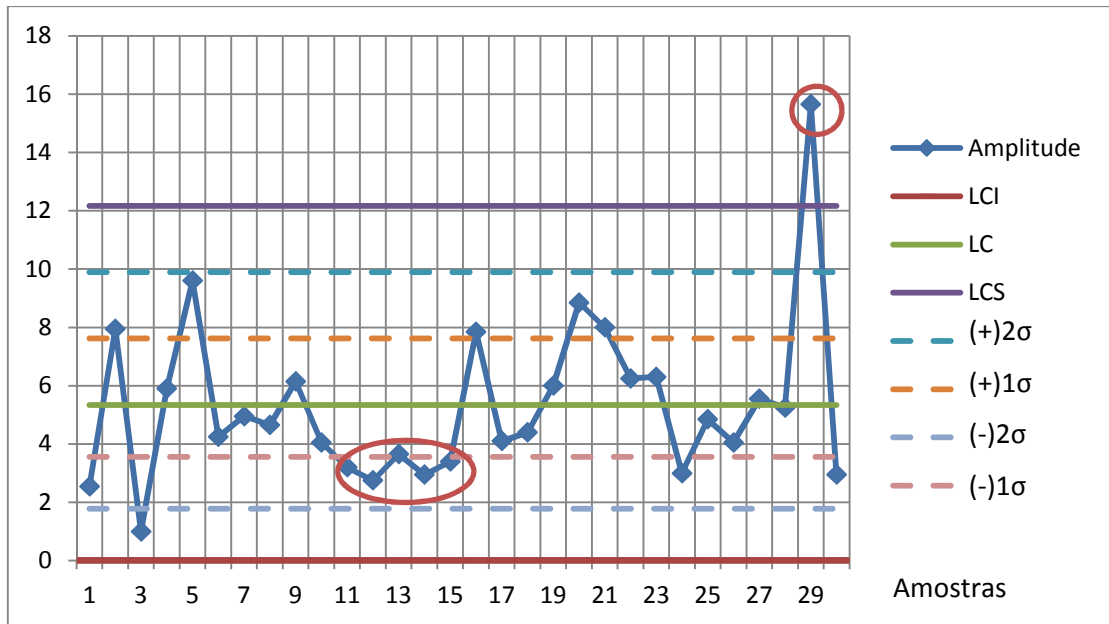


Figura G. 10 - Carta de controle das amplitudes: bimetall

A Figura G.10 demonstra a inexistência de um ponto fora dos limites de controle (ponto 29); esta situação resultou novamente da qualidade do material. Outra situação conferida nesta carta foi uma sequência anormal de pontos: quatro pontos entre cinco abaixo da linha - 1 sigma, nos pontos 11 ao 15; porém, verificou-se, nos dados recolhidos, que não existia uma causa em concreto, não passando de um falso alarme em termos de controle estatístico do processo.

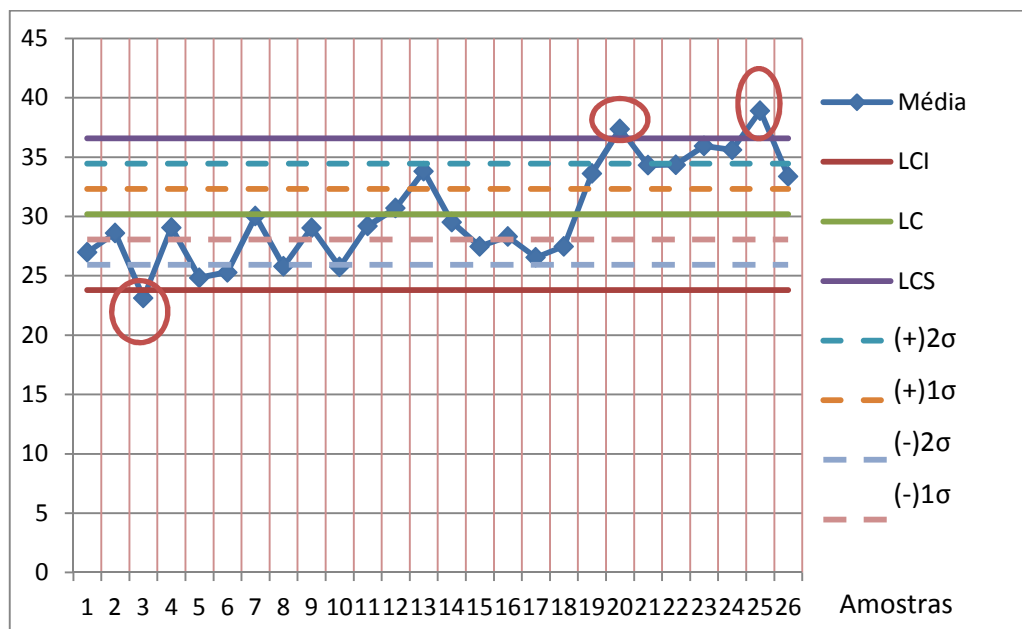


Figura G. 11- Carta de controle das médias: shunt

Por visualização da Figura G.11, foi possível identificar três pontos em descontrolo, dos quais dois (20 e 25) estão acima do limite de controle superior. Este momento de descontrolo

ocorreu devido ao material se encontrar no seu melhor estado. Quanto ao outro ponto identificado (ponto 3), o descontrolo deu-se à pouca fita de solda aplicada pelo colaborador.

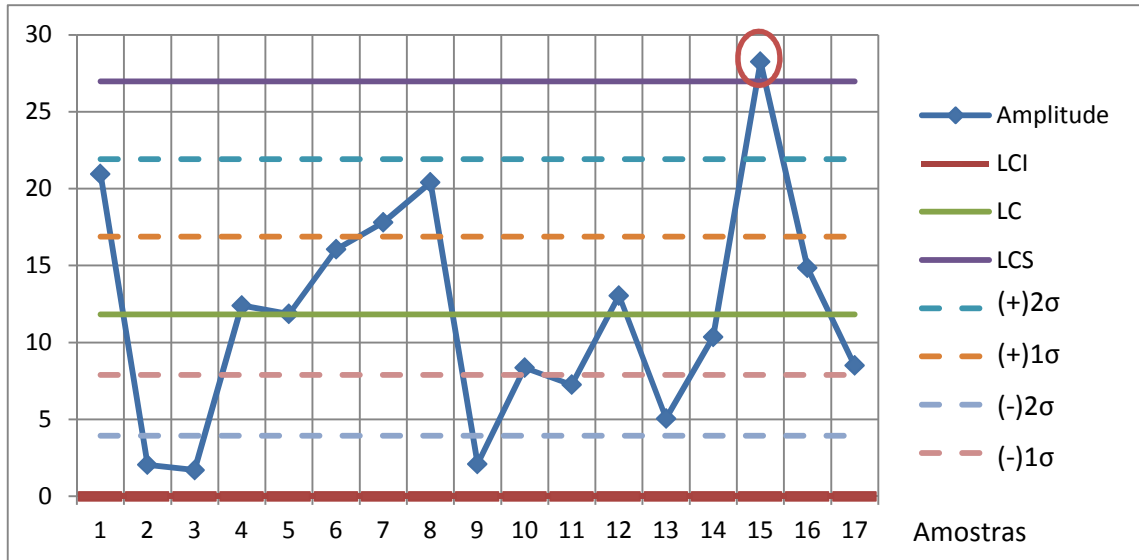


Figura G. 12 - Carta de controlo das amplitudes: contacto móvel (térmico)

Como se pode ver na Figura G.12, existe um ponto fora dos limites de controlo: o ponto 15; pelo mesmo motivo de ocorrência registado no ponto 3 da Figura H.11.

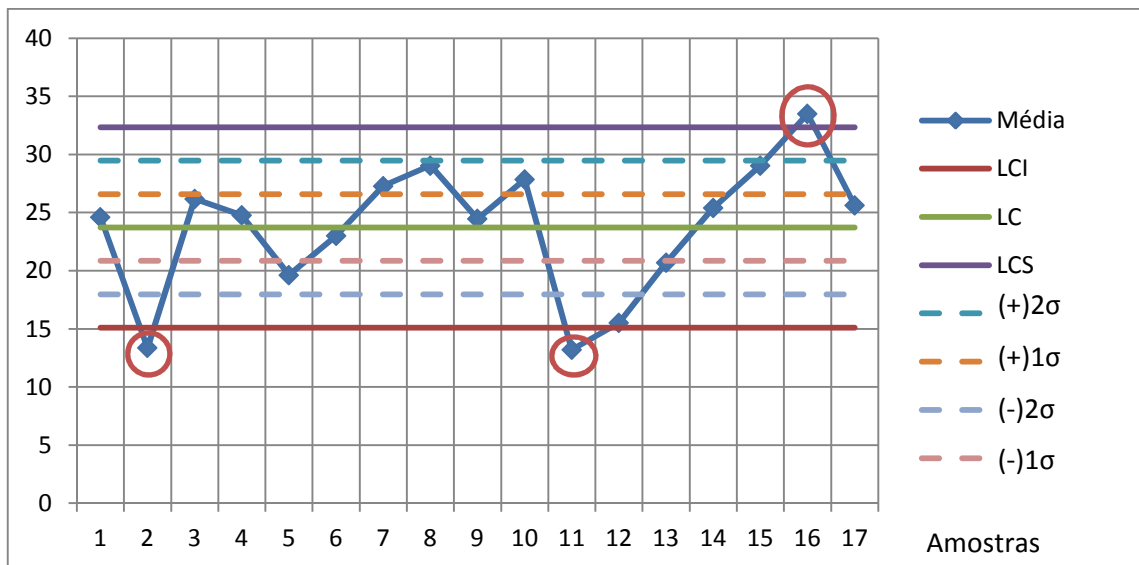


Figura G. 13 - Carta de controlo das médias: contacto móvel (térmico)

Através da observação da Figura G.13, verificou-se a existência de três pontos fora dos limites de controlo: pontos 2, 11 e 16. No ponto 2, a razão que originava o descontrolo era o desgaste do eléctrodo. No caso do ponto 11, a razão era a diminuição da temperatura na máquina, enquanto que, no ponto 16, era a do bom estado excessivo em que se encontrava o material.



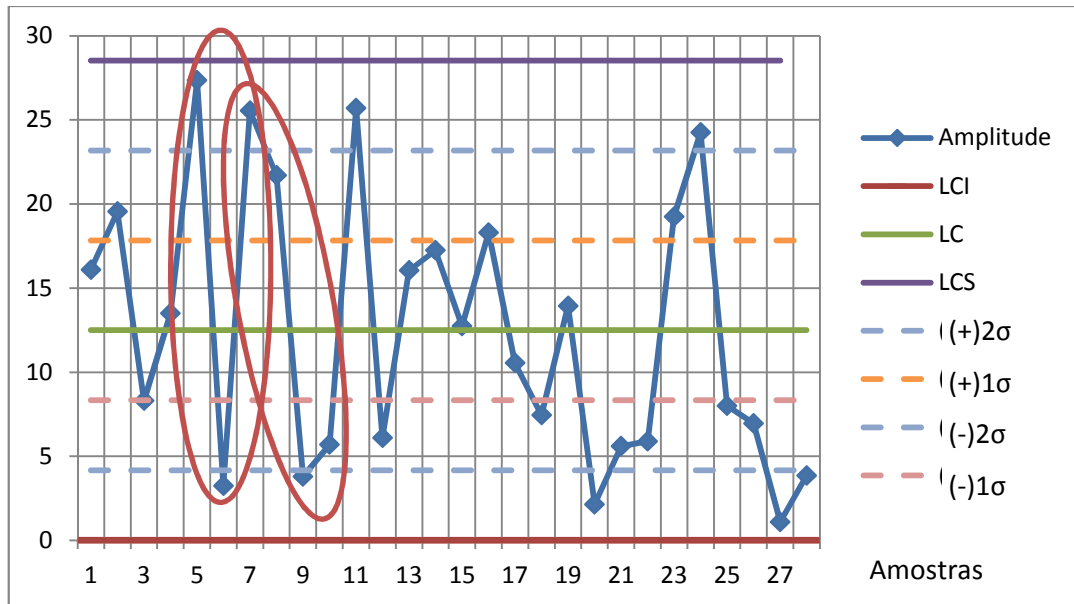


Figura G. 14 - Carta de controlo das amplitudes: pista de arco (térmico)

Como é possível constatar, na Figura G.14, do ponto 5 ao ponto 7, existia uma autocorrelação negativa. Ao mesmo tempo, do ponto 7 ao ponto 9, era possível ver-se a situação de padrão anormal de evolução: grandes oscilações pela possibilidade de existência de pó e/ou gorduras, e principalmente pela fraca definição do método no início do processo, como já tinha sido referido no estudo da pista de arco (neutro).

Quanto à leitura da carta de controlo das médias deste mesmo componente (Figura G.15), pode-se ver que só existia um ponto fora dos limites de controlo (ponto 11), resultante, mais uma vez, dos métodos estarem mal definidos à partida.

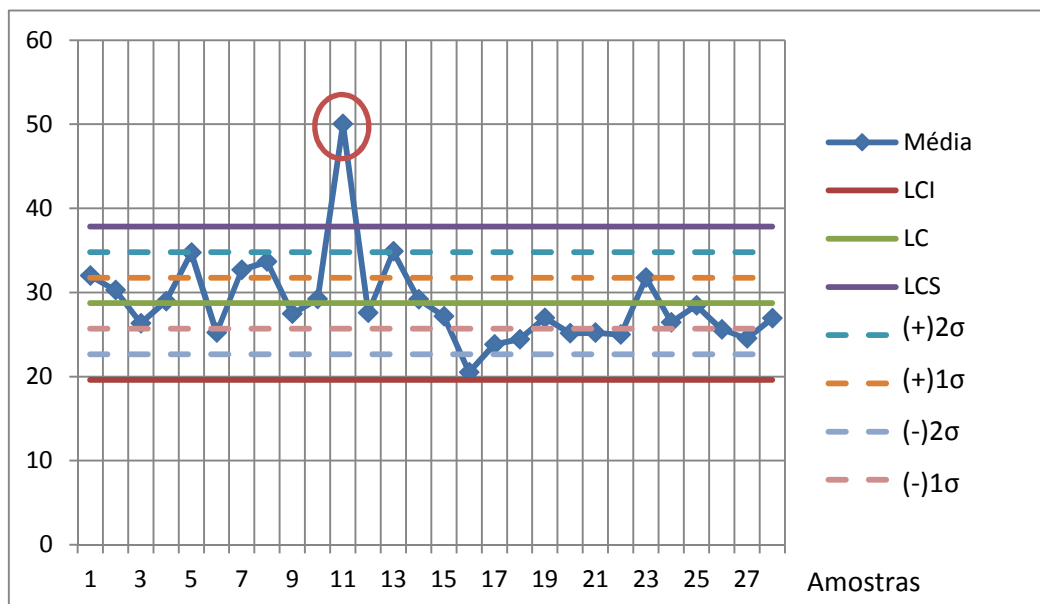
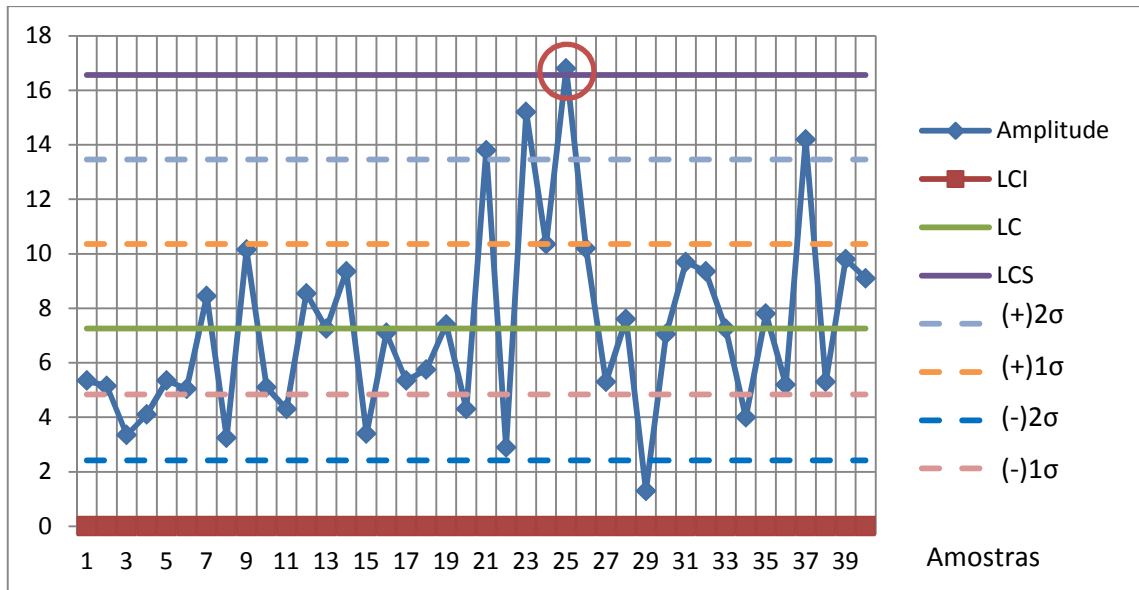


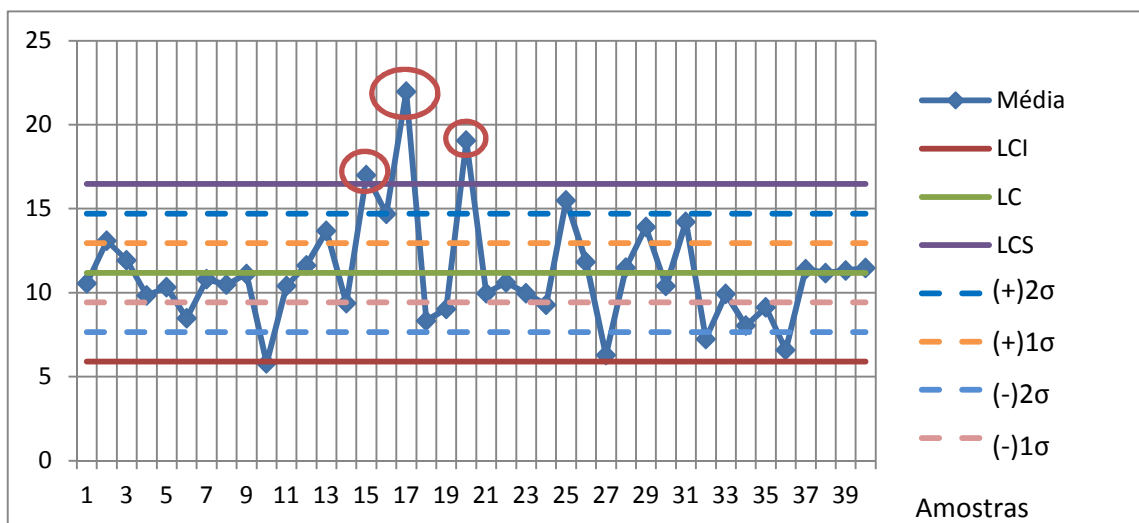
Figura G. 15 - Carta de controlo das médias: pista de arco (térmico)

Por fim, analisou-se o comportamento do processo do borne comprido relativamente às cartas de controlo das amplitudes (Figura G.16) e das médias (Figura G.17).



**Figura G. 16 - Carta de controle das amplitudes: borne comprido**

Na Figura G.16, identificou-se então um ponto fora dos limites de controle (ponto 25), resultante de problemas - avarias de refrigeração nas máquinas de soldar.



**Figura G. 17 - Carta de controle das médias: borne comprido**

Na Figura G.17, foram identificados alguns pontos fora de controle: os pontos 15, 17 e o 20.

As causas associadas a estas situações de descontrolo referiam-se ao aumento de temperatura da máquina e as próprias condições do material utilizado.

## ANEXO H: FMEA

Failure Modes And Effects Analysis Worksheet									
<b>Processo:</b> Soldadura <b>Component:</b> <b>Team:</b>			<b>Process Responsibility:</b>				<b>Creation Date:</b> <b>Revision Date:</b>		
Requisitos	Modo de falha(s)	Efeito(s) de falha	SEV	Causa(s) de falha	OCO	Controlos atuais do processo	DET	RFP	Ações recomendadas
Garantir um bom funcionamento dos disjuntores	Comprimento elétrico incorreto	Rejeição na verificação e calibração térmica	8	Material pode estar danificado do fornecedor	4	Inspeção por amostragem	5	160	-Se houver urgência do material a escolha é feita internamente, para depois seguir para a produção. -Caso ainda haja algum stock desse material, este é enviado novamente para o fornecedor.
				Jig não encontra-se bem posicionado	3	Controlo visual	3	72	-Ajustar o jig
				Colaboradoras não colocam as peças de forma correta	2		5	80	-Desenvolver novas jigs para evitar movimentos
				Colaboradoras pertendem quantidade e não qualidade devido ao prémio de produtividade	4	Normas	6	192	- Incutir nas pessoas a importância de produzirem material com qualidade que seja possível alcançar
				Calibrar paquímetro, calibres	5	-Calibrações periódicas -Controlo visual	1	40	Nenhum
Garantir que o material seja bem soldado	Má qualidade da soldadura	O material não solda em condições	8	Conter pó, gordura e verniz	4		10	320	Redefinição de métodos de controlo de receção
				Material fora de especificação (banho/revestimento)	2	Certificado do fornecedor	2	32	-Recorre-se ao fornecedor, ou retrabalho ou escolha (esta decisão irá depender da urgência ou da gravidade do banho/revestimento)
				Troca de modelos de componentes	2	Controlo visual	2	32	Gestão visual nas estantes dos componentes da soldadura
				Desgaste dos eletrodos	4		6	192	Sistema sentinel
				Alteração dos parâmetros da máquina (como a temperatura)	5	Controlo volante	7	280	Desenho experimental
				Afinação e alinhamento dos eletrodos	4	-Controlo visual e sistema poka yoke de alguns eletrodos	4	128	Desenvolver poka yoke para os restantes eletrodos
				Troca de eletrodos	3	Controlo visual	2	48	Identificação e gestão visual no local de armazenagem dos eletrodos
				Alguma falta de manutenção	6		5	240	-Definir-se manutenções preventivas nas máquinas de soldadura
				Calibrar o dinamómetro	1	-Inspeções periódicas -Inspeções sempre que hajam intervenção no aparelho (como por exemplo arranjo)	1	8	Nenhum
				Pouca fita de solda e/ou pasta	4	-Controlo visual da colaboradora que se encontra a soldar o material	6	192	Automação da despesa de fita
				Colaboradora deteta erros, mas não chama a afinadora	2		4	64	Instruir as pessoas para a importância de chamar na presença de deteção dos erros
				Condições físicas e psicológicas	2	Medicina do trabalho	3	48	Nenhum

**ANEXO I: Ferramenta 5W1H****Tabela I. 1- Plano de ações 5W1H**

<b>Problema</b>	<b>O que</b> vai ser feito?	<b>Porque</b> foi definida esta solução?	<b>Quando</b> será feito?	<b>Onde</b> será implementada?	<b>Quem</b> será o responsável?	<b>Como</b> vai ser implementada?
Bobines não conformes	Verificação do método de reaproveitamento das bobines.	Devido à falta de organização, no sentido de não existir qualquer indicação de que as bobines já foram reutilizadas	Após a saída da reparação e a calibragem das bobines	Na área da soldadura	Maria Barbosa/Eng. Rui Coelho	Estudo com marcação das bobines, de forma a identificar se as bobines recuperadas voltam a ser rejeitadas
Bobines não conformes	Verificação a 100% das bobines que vêm dos fornecedores	Para evitar a utilização de bobines na soldadura que a partida estão não conformes	Na receção deste material	Na área da qualidade	Rui Coelho/Departamento da qualidade	Verificação com os fornecedores (no caso de serem reprovados materiais) e averiguação da possibilidade de fabrico das bobines quadradas em Portugal
Bobines não conformes	Medidas para evitar a troca de bobines na soldadura	Devido a troca de bobines na área da soldadura	Até ao final do mês de maio	Na área da soldadura	Maria Barbosa/Departamento de Produção	Através da identificação de contentores de cores diferentes, ajudas visuais, <i>poka-yoke</i> no abastecimentos, entre outros
Bobines não conformes e bobines mal posicionadas	Melhoria do jig de soldadura da trança à bobine	Devido ao jig e elétrodo que tem dado problema	Semana 21	Na área da soldadura	Rui Coelho	Estudos a realizar no <i>jig</i>

(continuação na página seguinte)

(Continuação)

<b>Problema</b>	<b>O que vai ser feito?</b>	<b>Porque foi definida esta solução?</b>	<b>Quando será feito?</b>	<b>Onde será implementada?</b>	<b>Quem será o responsável?</b>	<b>Como vai ser implementada?</b>
Bobines mal posicionadas	Estudo de compactação mais alta e mais estreita, para facilitar a entrada do conjunto no módulo	Devido aos colaboradores não colocarem corretamente o material	Semana 21	Na área da soldadura	Rui Coelho/Departamento de Produção	Verificação dos vários tipos de compactação, para identificar as formas mais fáceis para colocar os <i>jigs</i>
Núcleos com fios partidos	Possibilidade do uso de “blisters”, no caso do núcleo S	Devido aos núcleos se danificarem ao longo do processo de fabrico dos disjuntores	Junho	No transporte da soldadura para a montagem	Maria Barbosa/Departamento de Materiais	Estudo do formato dos “blisters”
Núcleos com fios partidos	Melhoria do processo atual de enrolamento dos núcleos AC	Núcleos que se partem devido à forma como são enrolados	Dezembro	No fornecedor	Filipe Martins	
Núcleos com fios partidos	Melhoria no processo de armazenagem, abastecimento dos núcleos S entre soldadura/produção	Devido à falta de organização por parte da montagem e do abastecimento entre os processos	Novembro	Nos armazéns e no transporte entre os processos	Rui Amaro/Departamento de Produção	Estudo das possíveis hipóteses de armazenamento
Núcleos com fios partidos	Passagem do processo dos magnéticos para o Paulo Hora (subcontrato)	Devido à falta de organização por parte do transporte	Durante o mês de junho	No transporte	Rui Coelho/Departamento de Materiais	Estudo da separação de camadas, por meios de cartões ondulados
Tranças mal compactadas	Substituição do cilindro posterior de compactação	Devido às tranças mal compactadas	Julho	Na máquina que faz a compactação e o corte das tranças	Rui Coelho/Vítor Silva	Substituição do cilindro
Corte das tranças incorretas	Desenvolvimento de algum mecanismo que evite o torcer da trança	Devido ao corte, que não é o correto	Junho	Na máquina que faz a compactação e o corte das tranças	Rui Coelho/Mendes	Criação de <i>poka-yoke</i>

(Continuação na página seguinte)

(Continuação)

<b>Problema em questão</b>	<b>O que vai ser feito?</b>	<b>Porque</b> foi definida esta solução?	<b>Quando</b> será feito?	<b>Onde</b> será implementada?	<b>Quem</b> será o responsável?	<b>Como</b> vai ser implementada?
<i>Shunts</i> tortos	Melhoria nos cunhos dos shunts	Devido a criação de shunts tortos	Outubro	Na área dos metais	Eduardo Brás/Filipe Martins/Manutenção	Desenvolvimento de novos cunhos ou alterações
Distância entre elementos	Melhoria no <i>jig</i>	Devido às medidas entre conjuntos	Mês de julho	Na área da soldadura	Rui Coelho/Gustavo Machado	Inclusão de esfera inamovível
Distância entre elementos	Reabertura do plano de ações em relação à pista de arco	Devido às pistas de arco torto as que chegam à soldadura	Outubro	No fornecedor	José Pereira/Departamento da Qualidade	Revisão do plano de ações
Distância entre elementos	Inclusão de métodos de medidas do comprimento elétrico	Para evitar mais rejeições	Dezembro	Na área da soldadura	Rui Coelho/Gustavo Machado	Por meio de câmara de visão artificial, de forma a evitar erros de leitura
Distância entre elementos	Melhoria nos parâmetros de soldadura	Para evitar que calor excessivo deforme o bimetálico	Dezembro	Na área da soldadura	Rui Coelho	Através de desenho de experiências
Distância entre elementos	Verificação do método de reaproveitamento dos conjuntos.	Devido à falta de organização e ausência indicação por ser rejeitada pelo conjunto na reparação	Na verificação dos componentes	Na área da reparação	Maria Barbosa/Eng. Rui Coelho	Estudo com marcação dos componentes, de forma a identificar se os componentes recuperados voltam a ser rejeitados
Bimetais com segundo e comprimento incorretos	Melhoria do <i>Jig</i>	Para evitar os erros relativos ao bimetálico segundo corte e comprimento incorretos	Novembro	Na área da soldadura	Rui Coelho/Gustavo Machado	Por meio de pinos de localização
Bimetais com segundo corte e comprimento incorretos	Melhoria nos cunhos dos bimetais	Para evitar os erros relativos ao bimetálico segundo corte e comprimento incorretos	Novembro	Na área dos metais	Eduardo Brás/Filipe Martins/Manutenção	Desenvolvimento de novos ou alterações dos cunhos
Contacto móvel mal posicionado	Melhoria do <i>jig</i> de soldadura da trança ao contacto móvel	Devido ao <i>jig</i> e eletrodo que tem dado problema	Dezembro	Na área da soldadura	Rui Coelho	Estudos a realizar no <i>jig</i>